

Miljømuslinger

Muslinger som supplerende virkemiddel

Notat fra DCE - Nationalt Center for Miljø og Energi

Dato 29. april 2013

Jens Kjerulf Petersen¹⁾
Karen Timmermann²⁾
Marianne Holmer³⁾
Berit Hasler⁴⁾
Cordula Göke²⁾
Marianne Zandersen⁴⁾

¹⁾ Dansk Skaldyrcenter

²⁾ Aarhus Universitet, Institut for Bioscience

³⁾ Syddansk Universitet, Biologisk Institut

⁴⁾ Aarhus Universitet, Institut for Miljøvidenskab

Rekvirent:
Naturstyrelsen
Antal sider: 38

Faglig kommentering:
Peter Henriksen
Kvalitetssikring, centret:
Poul Nordemann Jensen



AARHUS
UNIVERSITET

DCE - NATIONALT CENTER FOR MILJØ OG ENERGI

Tel.: +45 8715 0000
E-mail: dce@au.dk
<http://dce.au.dk>

Indhold

Sammenfatning	3
Indledning	4
1 Baggrund	5
1.1 Erfaring med miljømuslinger i DK	5
1.2 Udenlandske erfaringer med miljømuslinger	6
1.3 Tekniske principper	7
1.4 Miljømæssige aspekter	8
2 Case study Skive Fjord	10
2.1 Anlæg og produktion	10
2.2 Fjernelsespotentiale	10
2.3 Omkostningseffektivitet	12
2.4 Effekt på sigtddybde	14
2.5 Effekt på sedimentation og sedimentets sammensætning	16
2.6 Effekter på sedimentprocesser	17
2.7 Akkumulering af miljøfremmede stoffer	19
2.8 Samlet vurdering	19
3 Nationalt perspektiv	21
3.1 Udbredelsespotentiale for kompensationsopdræt	21
3.2 Negative miljøeffekter	24
3.3 Regenerering efter påvirkning fra opdrætsanlæg	27
3.4 Anvendelse af miljømuslinger	28
3.5 Forvaltningsmodeller	29
4 Referencer	33
Bilag 1. Kompensationsopdræt ved havbrug	36

Sammenfatning

I notet beskrives og vurderes mulighederne for at udnytte muslingeopdræt som et omkostningseffektivt supplerende virkemiddel til fjernelse af næringsalte og til forbedring af miljøtilstanden i marine kystnære områder. Princippet i muslinger som virkemiddel er, at næringsalte tabt fra land bliver indbygget i muslingerne og efterfølgende føres tilbage til land, når muslingebiomassen høstes. Muslingeopdræt målrettet næringsstoffjernelse (kompensationsopdræt) er optimeret så biomassen pr. areal bliver størst mulig med minimal arbejdsindsats. Et fuldskaforøg med kompensationsopdræt i Skive Fjord viste, at kompensationsopdræt på et år kan fjerne 10-16 tons kvælstof (N) og 0,5-0,7 tons fosfor (P) svarende til 0,6-0,9 t N ha⁻¹ år⁻¹ og 0,03-0,05 t P ha⁻¹ år⁻¹. Den realiserede fjernelse vil især afhænge af høsttidspunktet, og da der i forsøgsanlægget ikke var tegn på fødebegrænsning, vurderer vi, at arealudnyttelsen og dermed næringsstoffjernelsen kan optimeres yderligere i områder som Skive Fjord. Omkostningsberegninger viste, at udgifterne til fjernelse af kvælstof er på 111-151 kr. kg⁻¹ N på det testede anlæg. Omkostningerne er primært relateret til arbejdsindsatsen i forbindelse med klargøring af anlægget og vedligeholdelse af anlægget i vækstperioden. Den økonomiske analyse, indikerer, at der vil være stordriftsfordele ved drift af mere end 4 anlæg, som kan reducere prisen med ca. 17 %. Endvidere kan omkostningerne sandsynligvis reduceres, hvis der udvikles nye opdriftssystemer, som kan reducere omkostningerne ved opbøjning på anlægget. Forsøget i Skive Fjord viste, at muslingerne udover den direkte fjernelse af næringsstoffer også har en lokal påvirkning af sigtddyden. I store dele af vækstperioden var sigtddyden i anlægget signifikant højere end på kontrolstationerne. Inkluderes effekten af kompensationsopdræt på sigtddyden vil den effektive pris af virkemidlet i forhold til indikatorer som fx ålegræssets dybdegrænse blive reduceret til at være < 15 kr. pr. kg N. Denne beregning baserer sig dog på preliminaire modelkørsler. Derimod var det vanskeligere at detektere negative miljøeffekter af organisk berigelse fra anlægget på sedimentet. Der var en forøget sedimentation under anlægget, men ingen eller kun lille forøgelse i sedimentpuljer af organiske stof og næringsalte, iltoptag og næringsaltsfluxe. Den manglede signifikante effekt af anlægget på sedimentets puljer af organisk stof samt benthiske fluxe af ilt og næringsalte tilskriver vi de store koncentrationer af organisk stof i sedimentet i hele Skive Fjord, som gør det vanskeligt at detektere forskelle mellem stationer placeret hhv. under og udenfor anlægget. En klassificering af danske fjorde ud fra deres egnethed til dyrkning af muslinger viste, at de fleste danske fjorde, som er dybere end 5 m, sandsynligvis er egnede eller måske egnede til kompensationsopdræt. I mange af fjordene kan store forekomster af edderfugle være et problem for effektivt kompensationsopdræt, medmindre der kan findes metoder til reduktion af deres prædation på muslingerne.

Indledning

For at opnå god økologisk tilstand i danske fjorde og kystnære farvande er der i vandplanerne opstillet reduktionsmål for tilførsel af næringssalte til det marine miljø. En række virkemidler er blevet iværksat til opnåelse af reduktionsmålene. Marine virkemidler er blevet foreslået som et supplement til landbaserede virkemidler, og de virker ude i recipienten, hvor de enten fjerner eller binder næringsstofferne eller på anden måde reducerer de negative effekter af eutrofiering fx ved at forbedre lysforholdene, reducere iltsvind og stabilisere sedimentet.

Princippet i muslinger som virkemiddel er, at næringssalte tabt fra land og efterfølgende indbygget i marin biomasse (muslinger) bliver ført tilbage til land ved at høste biomassen. Muslingerne ernærer sig ved at filtrere vandet for mikroalger. Mikroalgerne har gennem deres vækst indbygget næringssalte, som bliver ført videre til muslingerne, hvor en del lagres som muslingekød. Gennem muslingernes filtrering fjernes partikler som fx mikroalger, der gør vandet uklart og muslingerne kan derved også medvirke til at forbedre lysforholdene (fx målt ved sigtdybden). Fordi netop vandets klarhed, bl.a. i relation til indikatorerne "ålegræssets dybdeudbredelse" og "koncentrationen af klorofyl", på nuværende tidspunkt er vigtige parametre for miljøtilstand i kystvandene, har muslinger som virkemiddel et særligt potentiale. Miljømuslinger er endvidere et af de eneste virkemidler, der kan modvirke effekterne af næringsstoffrigivelse fra sedimenterne (intern belastning), og de kan bruges til at nedsætte den forventede tidsforsinkelse mellem reduktioner fra land og effekten i det marine miljø.

I dette notat gennemgås baggrunden for muslinger som virkemiddel, et aktuelt case study fra Skive Fjord, hvor der gennemføres et storskala forskningsprojekt om kompensationsopdræt af muslinger samt en perspektivering af de hidtidige erfaringer i forhold til implementering på nationalt plan.

Langline med settling af muslinger på yngelfang.
Foto: DSC.



1 Baggrund

1.1 Erfaring med miljømuslinger i DK

Muslinger blev første gang foreslået som virkemiddel til fjernelse af næringssalte i forbindelse med udarbejdelse af handlingsplaner for Mariager Fjord efter det omfattende iltsvind i 1997, hvor der blev observeret helt iltfrie forhold til ganske få centimeter fra overfladen [1]. Der blev efterfølgende igangsat et udredningsarbejde, som både kortlagde årsagerne til økosystemets kollaps og kom med forslag til fjordens genopretning og mulige indsatser. Dette arbejde udmøntede sig bl.a. i et idekatalog, hvor forskellige indsatsmuligheder blev beskrevet. En af de foreslåede muligheder var dyrkning af muslinger [2, 3]. Mariager Fjord blev anset for at være potentielt fosforbegrænset og det blev beregnet, hvor mange muslingeanlæg, der skulle til, for at reducere risikoen for gentagelse af iltsvindet i 1997. På baggrund af idekataloget udarbejdede Danmarks Miljøundersøgelser og Dansk Skaldyrcenter i fællesskab et notat om potentialer og begrænsninger i at bruge muslinger som virkemiddel i Mariager Fjord, herunder en konsekvensanalyse af muslingeopdræt [4]. Dette var første forsøg på at introducere muslinger som virkemiddel, såkaldte miljømuslinger, til opnåelse af miljømål. Blandt andet som følge af uheldige erfaringer med opdræt af muslinger i Mariager Fjord – hvor forpagteren af det eksisterende anlæg i fjorden gav op, da iltsvindet slog alle hans muslinger ihjel og anlægget havarerede – blev miljømuslinger imidlertid ikke en del af indsatsen til fjordens genopretning.

Med udgangspunkt i en række svenske forsøg blev der i 2007 gennemført en miljøøkonomisk analyse fra Fødevarøkonomisk Institut, Københavns Universitet, om muslinger som virkemiddel. Analysen tog udgangspunkt i en modelleret muslingeproduktion med dertil hørende omkostninger og resultatet blev sammenlignet med andre virkemidler [5]. Undersøgelsen konkluderede, at miljømuslinger var prismæssigt konkurrencedygtige med andre virkemidler, endda inden retentionen fra kilden til fjorden var regnet ind, men også at prisen på muslinger som virkemiddel kan være meget varierende afhængigt af bl.a. dybden af dyrkningsområdet og afsætningsmulighederne. Forfatterne konkluderede bl.a., at det er mere omkostningseffektivt at dyrke muslingerne i dybere dele af fjorden (> 4 m), da udgifterne til længere liner er meget mindre end etableringsprisen for flere, men kortere liner. Vurderingerne i undersøgelsen blev foretaget på baggrund af modelberegninger og var ikke understøttet af empiriske data.

I 2009 gennemførte Dansk Skaldyrcenter i samarbejde med Aarhus Universitet og Syddansk Universitet et pilotstudie for By- og Landskabsstyrelsen, Miljøministeriet [6]. Pilotstudiet baserede sig på studier i forbindelse med opdræt af muslinger til konsum i Limfjorden, modelberegninger og konkrete målinger i Skive Fjord og havde fokus på potentialer og begrænsninger ved miljømuslinger i relation til fiskede muslinger. Den resulterende rapport konkluderede bl.a., at dyrkning af 8.000 t muslinger kunne forventes, udover fjernelse af op til 80 t kvælstof og 5 t fosfor, at have betydelig positiv effekt på sigtdybde, koncentration af klorofyl og antal dage med iltsvind.

Det Strategiske Forskningsråd støtter p.t. et projekt – Mussels, Mitigation and feed for Husbandry (<http://www.skaldyrcenter.dk/muslinger-som-virkemiddel-mumihus/>) – der tager udgangspunkt i et fuldskala muslingeopdrætsanlæg beliggende i Skive Fjord. Projektet omfatter målinger af

produktion af biomasse, fjernelse af næringssalte og effekter på miljøet under og omkring opdrætsanlægget i Skive Fjord. På baggrund af målingerne opstilles modeller for de økologiske effekter af muslingeopdræt samt de forvaltningsmæssige aspekter, herunder hvordan miljømuslinger kan implementeres i en miljøforvaltning. Endelig perspektiveres virkemidlet gennem målinger af potentielle begrænsninger som saltholdighed og evt. optag af miljøfremmede stoffer. Limfjordsrådet og et antal kommuner omkring Limfjorden har bakket op om projektet ved at støtte supplerende analyser af fx anvendelse af miljømuslingerne. Projektet ledes af Dansk Skaldyrcenter med deltagelse af forskningsinstitutioner fra Danmark, Canada og New Zealand.

Endelig er der startet et nyt projekt under Grønt Udviklings- og Demonstrations Program, der løber fra 2012-15. Projektet "Kombinationsopdræt af havbrugsfisk, tang og muslinger til foder og konsum" har som grundide at muliggøre en femdobling af havbrugsproduktionen i Danmark uden at belaste havmiljøet med kvælstof ved kompensationsopdræt af tang og muslinger. Projektet er opdelt i en række aktiviteter: optimering af driftsmetoder, optimering af produktion af tang samt analyser af tang og muslinger som råvarer for foderindustrien. Projektet ledes af Dansk Akvakultur med deltagelse af en række virksomheder samt DHI og DTU-Miljø.

Udover den forsknings- og udviklingsmæssige tilgang til miljømuslinger har to danske havbrugere – Musholm Laks og Hjarnø Havbrug – investeret i opdrætsanlæg til produktion af miljømuslinger med henblik på at kunne udvide produktionen af fisk. Produktionen af muslinger er etableret, men en tilladelse til øget produktion af fisk er endnu ikke bevilget.

1.2 Udenlandske erfaringer med miljømuslinger

En række forskellige lande har overvejelser om at implementere muslinger som virkemiddel. Målet er primært at kompensere for effekter af for stor tilførsel af næringssalte fra land, men også recirkulering af mineraler, der enten er sparsomme (fx fosfor) eller dyre at udvinde (kvælstof), samt skabelse af arbejdspladser i udkantsområder, indgår i overvejelserne i flere lande.

Flest erfaringer er gjort i Sverige. I begyndelsen af dette årtusinde blev der etableret et Interreg-projekt, der undersøgte mulighederne for at bruge muslinger som virkemiddel [7] og projektet viste, at en ordning med fjernelse af kvælstof i recipienten frem for ved kilden er i overensstemmelse med EU's spildevandsdirektiv. Det ledte til, at Lysekils Kommune i 2005-10 indledte et forsøg med fjernelse af kvælstof i recipienten Gullmarsfjorden i stedet for at investere i kvælstoffjernelse på det lokale spildevandsanlæg. Forsøget kuldsejlede dog af flere årsager. Først og fremmest valgte man i Sverige en model, hvor en privat opdrætter blev betalt et beløb, der ikke fuldt kunne dække produktionsomkostningerne. Opdrætteren skulle finde den resterende finansiering samt evt. overskud ved salg af muslingerne på det europæiske ferskvaremarked. Det kunne af forskellige årsager ikke lade sig gøre, og reelt blev den bestilte mængde kvælstoffjernelse ikke realiseret. Eksemplet afskrækkede dog hverken kommunen eller de svenske myndigheder mere end, at de efterfølgende har arbejdet videre med konceptet med fokus på brug af virkemidlet i Østersøen og anvendelse af kompensationsopdrættede muslinger. Resultaterne har vist, at muslingerne, efter forarbejdning til mel, er egnede til fodring af høns [8], og der er blevet etableret en fabrik i pilotskala i Lysekil, der har haft en vis afsætning af produkterne til økologiske fjerkræproducenter (O. Lindahl pers. komm.). Endnu er der ikke etableret en

større produktion, der på kommerciel skala kan konkurrere med andre proteinkilder.

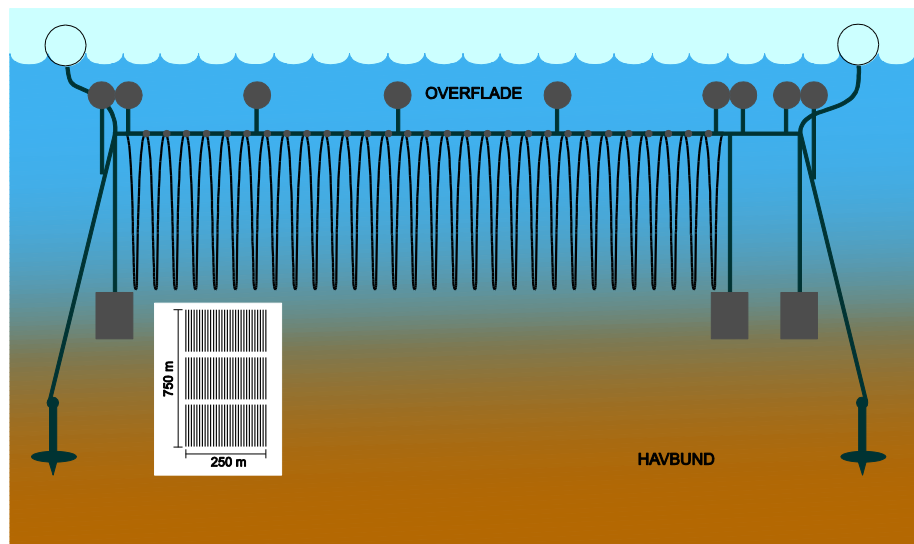
I Tyskland er der blevet gennemført et modelstudie i Stettin Lagunen [9], der belyste muligheden for at bruge zebramuslinger som vandrensere. Det blev konkluderet, at dyrkning af muslingerne kombineret med fiskeri på de eksisterende bestande ville kunne forbedre vandkvalitet og reducere koncentrationen af næringssalte, men de økonomiske fordele ved dyrkning ville være begrænsede, fordi det ikke er muligt at forudsige stabil rekruttering på dyrkningsmedier. Derudover vil en forudsætning for at bruge zebramuslinger som virkemiddel være at finde en egnet anvendelse af muslingerne. De tyske myndigheder har udtrykt bekymringer for de mulige negative effekter af muslingeopdræt i vandsøjlen, som primært er relateret til den øgede sedimentation under anlæggene og vil derfor på nuværende tidspunkt ikke anbefale kompensationsopdræt som virkemiddel.

1.3 Tekniske principper

Det overordnede princip ved opdræt af blåmuslinger i vandsøjlen er at have et yngelfang hængende i vandet, hvorpå muslingelarver kan fæstne sig. Yngelfanget kan være liner, bændler, net eller et andet egnet og håndterbart materiale, der er ophængt fra langliner, flydende rør, platforme eller stativer. Den efterfølgende vækst til høstmoden størrelse kan enten foregå på yngelfanget, eller der kan indgå en eller flere mellemliggende håndteringer af muslingerne, hvor muslingerne overføres fra yngelfang til out grow materialer som muslingestrømper. De principielle forskelle mellem de mange former for opdræt i vandsøjlen er, hvorvidt anlæggene er overfladebaserede eller undersænkede, og om der foretages en mellemhåndtering af muslingerne. Til opdræt med henblik på næringsstoffjernelse, hvor formålet er maksimering af biomasseproduktion med minimum arbejdsindsats, er mellemhåndtering ikke hensigtsmæssig, da det er en arbejdskrævende proces, som ikke i sig selv øger den biomasse, der kan produceres, men udelukkende kvaliteten af muslingerne. I indre danske farvande med potentielt isdække om vinteren er det endvidere hensigtsmæssigt at kunne undersænke anlæggene i dele af året.

Et klassisk opdrætsanlæg (*figur 1.1*) er i fx Limfjorden opbygget ved, at der mellem to ankre med en indbyrdes afstand på ca. 250 m udspændes en langline. Langlinen løftes op i vandsøjlen af bøjler placeret i enderne samt med jævne intervaller i linens udstrækning. Ligeledes placeres et antal vægtsklokker med jævne intervaller for at holde linen udspændt og nedsænket i ensartet dybde. På et standardanlæg på 250 x 750 m kan der udlægges 90 langliner af hver ca. 200 m fordelt på tre sektioner. Fra hver langline hænger der yngelfang i kontinuerlige guirlander med en afstand på 40-60 cm mellem hver fold. Hver guirlande er typisk to-tre m, men kan i princippet være længere afhængig af blandt andet vanddybden og de lokale føde- og iltforhold. De kontinuerlige yngelfang, der anvendes i dag, er fortrinsvis fem cm brede groftvævede nylonbånd. Ved at justere antallet af bøjler på langlinerne sikres, at langlinen er placeret rigtigt i vandsøjlen i hele vækstperioden, så yngelfanget på den ene side er fri af bunden og bøjlerne på den anden side ligger lige under vandspejlet, så de ikke bliver fanget i evt. is.

Figur 1.1. Skematisk fremstilling af klassisk opdrætsanlæg.



Alternative anlæg, som fx bruges i forbindelse med havbrug i Horsens Fjord og Storebælt, kan være konstrueret af den norske virksomhed Smartfarm® og bestå af op til 120 m lange rør forankret i hver sin ende med skrueankre. På rørene bindes i hele rørets længde net med variabel maskestørrelse, fx 165 x 165 mm, og med en højde på tre m. Nettene fungerer som yngelfang, og der bruges specielt udviklede maskiner til høst. På et anlæg kan der være 40-60 rør. Opdrætsanlægget er overfladebaseret, men kan undersænkes ved påfyldning af vand. Denne proces er dog endnu ikke kontrollerbar, og derfor kan man endnu ikke undersænke den slags anlæg kontrolleret med samtidig sikring af produktionen af muslinger.

1.4 Miljømæssige aspekter

Muslinger som virkemiddel har en umiddelbar miljøeffekt ved den mængde næringssalte, der bliver fjernet ved høst. Derudover vil muslingernes filtrering af vandet medføre en fjernelse af partikler og dermed en forøgelse af vandets klarhed. Muslinger filtrerer ca. 9 l pr. time pr. g tørvægt muslingekød [10], hvilket på et standardanlæg kan blive til i størrelsesordenen 2-15 mio. m³ i døgnnet afhængig af muslingernes størrelse og vandets temperatur. Betydningen af dette filtreringspotentiale for vandets klarhed vil afhænge af mange forhold, fx vandudskiftning i og omkring anlægget, men er af potentiel stor betydning også på bassinskala [6].

Muslingernes fødeoptagelse resulterer imidlertid også i produktion af affaldsprodukter, som primært i form af muslingefækalier havner på bunden under anlæggene. Den forøgede sedimentation under et anlæg vil medføre organisk berigelse af sedimentet og øgede fluxe af ilt og næringssalte mellem sedimentet og vandsøjlen. Ændringer i fluxe vil være afhængig af den forøgede sedimentation under anlæggene, som igen vil afhænge af produktionens størrelse [6]. Det er således vist, at opdrætsanlæg generelt vil medføre påvirkning af sedimenterne i form af øgede remineraliseringshastigheder, øget denitrifikation, øget iltforbrug lokalt og ændringer i sedimentets kemiske sammensætning. Det kan imidlertid antages, at den forøgede sedimentation under anlæggene vil medføre mindre sedimentation uden for anlæggene og mindre total sedimentation på bassinskala, da en del af det organiske stof bindes i muslingerne og fordi sedimentationen koncentrerer sig under anlæggene. Den konkrete påvirkning i et givet område vil altid afhænge af områdets aktuelle tilstand, herunder de specifikke sedimentationshastigheder.

En række sekundære effekter af anlæggene kan desuden forventes. Anlæggene er i sig selv fysiske strukturer i vandsøjlen, der i et veliltet miljø kan fungere som substrat for epibentiske organismer og som skjul for fisk. Opdrætsanlæggene kan dermed fungere som kunstige rev med alt, hvad det indebærer af dannelse af habitater, lokal øgning af biodiversiteten og facilitering af spredningsveje i form af såkaldte "stepping stones" (se fx [11]). Andre sekundære effekter kan være påvirkning af planktonsamfundets sammensætning, idet muslingerne effektivt filtrerer alle partikler fra 3-4 μ og op til et par mm. Dermed påvirker de potentielt både fytoplanktonets [12] og zooplanktonets [13] sammensætning. Ingen af disse effekter er dog endnu studeret på bassinskala i Danmark.



Udsigt over opdrætsanlæg 112 ved Eskær i Skive Fjord. Foto: DSC.

2 Case study Skive Fjord

I regi af et forskningsprojekt under Det Strategiske Forskningsråd (MuMiHus) blev der i 2010-11 gennemført et forsøg med muslinger som virkemiddel. Projektet har haft udgangspunkt i dyrkning af kompensationsmuslinger i fuldskala med henblik på at vurdere fjernelsespotentialt og omkostningseffektiviteten. I tilknytning til de praktiske studier er der blevet gennemført intensive studier af forskellige aspekter af brug af muslinger som virkemiddel: Effekt på det benthiske miljø, effekt på næringssaltregenerering, virkemidlets nationale begrænsninger i relation til effekt i lavsaline områder, muslingernes ophobning af miljøfremmede stoffer og udvikling af managementmodeller for virkemidlet. Projektet vil derudover udvikle modeller for studieområdet Skive Fjord med henblik på at vurdere effekten af kompensationsopdræt på bassinskala. I forskningsprojektet deltager en række nationale og internationale partnere.

2.1 Anlæg og produktion

Til den praktiske del lejede projektet et kommercielt opdrætsanlæg (anlæg 112 ved Eskær) i Skive Fjord. Anlægget er et standard opdrætsanlæg på 250 x 750 m udstyret med 90 langliner af hver ca. 200 m fordelt i 3 sektioner med hver 30 liner placeret parallelt med kysten (se figur 1.1). Der blev brugt klassiske dyrkningsteknikker og materialer som beskrevet i afsnit 1.3. Anlægget blev gjort klar i maj 2010 og settlingen af muslingeyngel foregik i maj-juni 2010. Der blev ikke foretaget mellemhåndtering i form af sortering og strømpning af muslingerne, hvorved arbejdsindsatsen blev minimeret og udbyttet maksimeret. Efter klargøring af anlægget var de primære arbejdsopgaver relateret til dyrkningen med løbende opbøjning, i takt med at muslingerne voksede, samt afsluttende høst. Fra start blev det besluttet at høste delmængder på tre tidspunkter: lige før vinteren (november-december), efter vinteren (marts) og inden den nye settling året efter (maj).

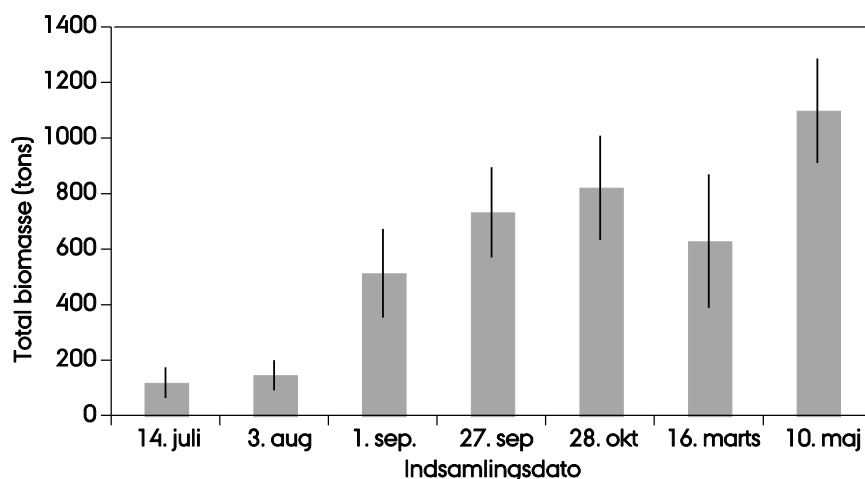
Begrundelserne for valg af anlæg, dyrkningsmetode og høsttidspunkter har været flere. For det første har målet været at optimere biomassen og minimere arbejdsindsatsen, hvorved mellemhåndtering er udelukket. For det andet har udgangspunktet været at benytte sig af en anlægstype, der giver en sikker mulighed for wintersikring ved evt. isdannelse i fjorden, og dermed har nyere opdrætsmetoder som fx Smartfarm® været udelukket. For det tredje har det været et ønske at vurdere, om fremskyndet høst kunne reducere omkostningerne i relation til biomassefjernelse. Endelig har praktiske og økonomiske hensyn fordret, at der blev brugt et eksisterende anlæg, hvilket har fikseret arealudnyttelsen og dermed udelukket mulighederne for at konfigurere anlægget anderledes end det givne, fx ved at øge antallet af langliner. For at øge arealudnyttelsen blev der gennemført forsøg med at hænge yngelfanget både tættere og dybere.

2.2 Fjernelsespotentialt

Der blev løbende taget prøver på anlægget til bestemmelse af udviklingen i biomasse af muslinger. Disse prøvetagninger blev suppleret med prøvehøst af muslinger på tre tidspunkter. Estimaterne af høstbar mængde er beregnet dels på baggrund af biologisk prøvetagning i triplikat flere forskellige steder i anlægget og efterfølgende omregning til biomasse på hele anlægget, dels på afhøstning af hele liner og efterfølgende omregning til hele anlægget.

Begge estimater er skøn, men de to forskellige skøn var sammenfaldende. Den væsentligste forøgelse af biomasse af muslinger skete i løbet af efteråret (figur 2.1). På baggrund af prøveafhøstningen i november-december 2010 blev den høstbare biomasse således estimeret til at være på ca. 900 t. Denne mængde var faldet ved prøvehøst ultimo marts 2011, sandsynligvis på grund af langvarigt isdække fra december 2010 til marts 2011. Ved afslutningen i maj 2011 blev det vurderet, at den samlede høstbare mængde ville have været ca. 1100 t uden forudgående afhøstninger. Analyser af vækstdata og fødegrundlag viste, at der ikke var fødebegrænsning og dermed ingen tæthedseffekter på muslingernes vækst på noget tidspunkt, og at anlægget derfor kunne have leveret en større produktion fx ved mindre afstand mellem langliner og opbindinger. Dog ville en optimering ved at øge dybden af de enkelte loops kun have givet en begrænset effekt, da der var en lavere biomasse på de dybest beliggende loops, hvor der var stor settling af søpunge. Aftagende biomasse af muslinger og øget settling af søpunge på de dybest beliggende dele af settlingsbåndene er tidligere konstateret på andre lokaliteter i Limfjorden (Tørring, pers. komm). Samlet vurderet kunne anlægget have produceret op til 1.400 t ved en optimering af anlægget med fx tættere afstand mellem langlinerne.

Figur 2.1. Estimeret biomasse i vådvægt af blåmuslinger på opdrætsanlæg i Skive 2010-11.



Indholdet af kvælstof og fosfor varierede meget lidt gennem perioden og lå i gennemsnit på 6-8 % N og 0,6-0,8 % P af tørvægten af kødet. Kvælstofindholdet var generelt lidt lavere end målt i tilsvarende undersøgelser både fra Limfjorden (8-10 % af tørvægten) og i udenlandske undersøgelser [14], hvorimod fosforindholdet var på niveau med målinger fra tilsvarende undersøgelser. Efterfølgende analyser i Limfjorden fra det pågældende område har vist N-indhold på 8-10 % og dette er anvendt i de videre beregninger. Ved at sammenstille estimaterne af biomasse af muslinger på forskellige tidspunkter med de målte koncentrationer af kvælstof og fosfor i henholdsvis muslingekødet, skallerne og byssus kan den samlede fjernelse af næringssalte på de forskellige tidspunkter beregnes. Dette er gjort i tabel 2.1 og viser, at det potentielle høstudbytte var størst i maj og, at der ikke er forskelle i fjernelsen af kvælstof lige før og efter vinteren (december og marts), hvorimod fosforfjernelsen var større i marts. Trods de lidt lavere koncentration af kvælstof i muslingekødet sammenlignet med andre områder kompenserer det større kødindhold herfor, så de samlede mængder fjernet næringssalte ved høst er lidt større end de anslåede, ca. 1 % af vådvægten, når både skaller og byssus medtages i beregningerne.

Tabel 2.1. Mængde i ton af kvælstof (N) og fosfor (P) i muslinger på anlæg i Skive Fjord ved høst på tre forskellige tidspunkter. De angivne mængder er estimeret af høstbar mængde.

	Kød		Skaller		Byssus		Total	
	N	P	N	P	N	P	N	P
Dec. 10	7	0,5	2,6	0,01	1,3	0,01	11	0,5
Marts 11	6	0,5	2,5	0,01	1,8	0,01	10,5	0,5
Maj 11	9	0,7	4	0,02	3	0,02	16	0,7

Under de testede forhold på anlægget i Skive Fjord kunne der således høstes ca. 60 t muslinger $\text{ha}^{-1} \text{år}^{-1}$ hvilket, afhængig af kvælstofindholdet i muslingerne, giver et fjernelsespotentiale på mellem 0,6-0,9 t N $\text{ha}^{-1} \text{år}^{-1}$.

2.3 Omkostningseffektivitet

Omkostningerne ved kompensationsopdræt kan opgøres som både budget- og velfærds-økonomiske omkostninger. Den budgetøkonomiske opgørelse omfatter de økonomiske konsekvenser af en produktion for de berørte aktører (muslingeopdrætteren). De priser, der indgår i en budgetøkonomisk opgørelse, opgøres i de faktorpriser, som virksomhederne faktisk skal betale, dvs. priserne fratrukket afgifter og tillagt subsidier [15]. For sammenligning af omkostningseffektivitet mellem virkemidler (fx mellem muslingeopdræt og landbrugsvirkemidler) er det korrekte sammenligningsgrundlag den velfærdsøkonomiske opgørelse. Den velfærdsøkonomiske opgørelse angiver forbruget af de ressourcer, som samfundet samlet set anvender på fx et miljøprojekt. Priserne på disse ressourcer fastsættes ved hjælp af såkaldte beregningspriser for markedspriserne, og afgifter og tilskud medtages ikke, da disse i princippet blot er omfordelinger i samfundet. I forhold til den budgetøkonomiske analyse omregnes alle faktorpriser til forbrugerpriser ved hjælp af den såkaldte nettoafgiftsfaktor (faktor 1,35 er anvendt). Nutidsværdien er i den velfærdsøkonomiske analyse beregnet ved at anvende en kalkulationsrente på 5 %, da denne er anvendt for omkostninger for andre virkemidler [16, 17]. Omkostningerne ved muslingekompensationsopdræt omfatter drifts- og anlægsomkostninger samt omkostninger til planlægning og administration og er beregnet i 2012 priser, og for den budgetøkonomiske og velfærdsøkonomiske opgørelse er der benyttet samme beregningsgrundlag for investeringerne og driften af anlægget, men forskellige beregningspriser [15]. For nogle aktiviteter varierer omkostningerne over årene, de ophører fx efter en årrække eller gentages fx hvert 10. år. Disse omkostninger er blevet omregnet til årlige omkostninger. Anlægsomkostningerne er annuieret med de angivne levetider for de forskellige dele af anlægget. I begge opgørelser har vi kun beregnet omkostninger og har ikke indregnet indtægter fra muslingeproduktionen.

Der er beregnet omkostninger for en forventet høst på ca. 900 t i november-december og 1100 t i maj. Ved høst i maj er omkostningerne højere end i november/december på grund af udgifterne til ekstra opbøjninger og andet vedligehold, men har samtidig medført en større høstmængde. De beregnede omkostninger på de to høsttidspunkter er sammenfattet i *tabel 2.2*. Under de testede forhold på anlægget i Skive Fjord blev omkostningerne til kvælstoffjernelse beregnet til at ligge mellem 98-119 kr. pr. kg N.

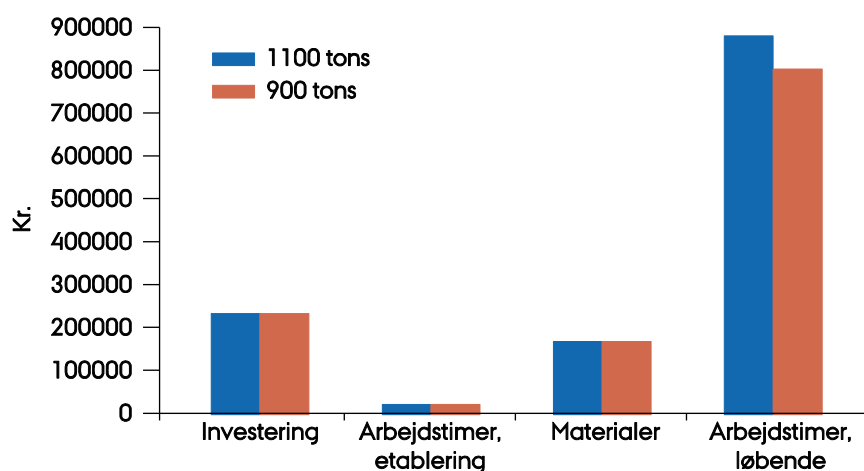
Tabel 2.2. Beregnede omkostninger for produktion af muslinger og fjernelse af kvælstof.

Omkostning	Kroner
Budgetøkonomisk ved høst i december (høst 900 tons)	1.235.274
Velfærdsøkonomisk ved høst i december (høst 900 tons)	1.667.619
Budgetøkonomisk kr./kg musling (høst 900 tons)	1,40
Velfærdsøkonomisk kr./kg musling (høst 900 tons)	1,90
Budgetøkonomisk ved høst i maj (høst 1100 tons)	1.312.274
Velfærdsøkonomisk ved høst i maj (høst 1100 tons)	1.771.569
Budgetøkonomisk kr./kg musling (høst 1100 tons)	1,20
Velfærdsøkonomisk kr./kg musling (høst 1100 tons)	1,60
	Kr. pr. kg N
Omkostning pr. kg N* ved høst i december	151
Omkostning pr. kg N* ved høst i maj	111

* Velfærdsøkonomisk omkostning som beregningsgrundlag.

Udgifterne i beregningerne i *tabel 2.2* er bl.a. påvirket af, hvordan udgiften til både indgår i driftsbudgettet. I beregningerne er bådene lejede, men hvis der i stedet investeres i indkøb af en arbejdsbåd og en høstbåd, som forventes at kunne dække behovet for både for i alt 4 anlæg, falder de velfærdsøkonomiske omkostninger ved høst i maj fra 1,77 til 1,47 mio. kr.

Den overvejende del af omkostningerne er relateret til arbejdsindsatsen, som udgør ca. 65 % af de samlede omkostninger (*figur 2.2*). Efter klargøring af anlægget til nedslag af muslingerne ligger hele arbejdsindsatsen i at bøje op i takt med at muslingerne vokser. Der var i Skive Fjord en kraftig vækst hos muslingerne og arbejdsindsatsen ved denne aktivitet er derfor betydelig. Da omkostningerne ved indkøb af bøjer desuden er en betydelig del af både etablerings- og driftsomkostningerne, vil en udvikling af nye opdriftssystemer, der på den ene side kan undersænkes i tilfælde af is og på den anden side ikke behøver konstant vedligeholdelse, have stor betydning for reduktion af omkostningerne ved kompensationsopdræt og dermed virkemidlets effektivitet.

Figur 2.2. Fordeling af de årlige omkostninger ved kompensationsopdræt ved høst i november-december (900 t) og maj (1100 t).

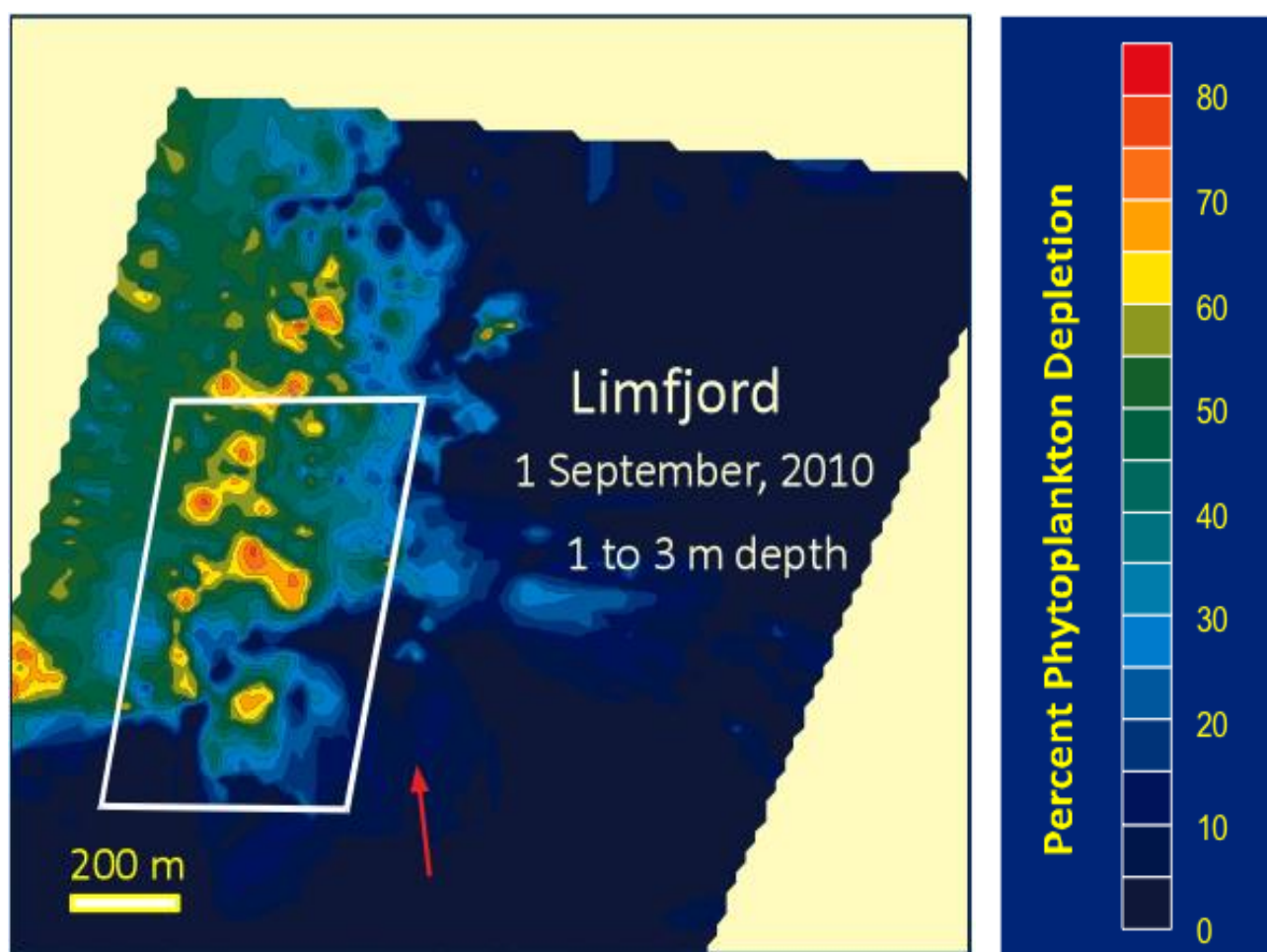
Brug af muslinger som virkemiddel vil have en beskæftigelsesmæssig effekt, der ikke er medtaget i vurderingerne af virkemidlets samlede effekter, men på baggrund af erfaringerne fra projektet i Skive Fjord kan det anslås, at der vil være en beskæftigelseseffekt på 2-2,5 årsværk pr. muslingeanlæg. Ved flere anlæg i nærheden af hinanden kan arbejdsforbruget pr. anlæg reduceres.

2.4 Effekt på sigtdybde

Effekten af muslingernes filtration kan illustreres på forskellig vis. I *tabel 2.3* er muslingernes filtrationspotentiale beregnet for forskellige tidspunkter på året. Af tabellen fremgår, at muslingerne på et anlæg kan filtrere betydelige mængder vand dagligt. En del af det vand, der filtreres i et anlæg med høj tæthed af muslinger, vil givetvis have passeret gennem muslingerne mere end én gang, men i sammenligning med muslinger på bunden vil muslinger placeret i vandsøjlen have større adgang til fytoplankton og der kan forventes en større vandudskiftning – og dermed en mindre genfiltrering af vand – omkring linemuslinger. Dette forhold afspejles yderligere af, at linemuslinger hurtigere når konsumstørrelse end muslinger på bunden.

Tabel 2.3. Filtrationspotentiale hos muslinger i opdrætsanlæg i Skive Fjord beregnet som funktion af størrelse af muslingerne og vandets temperatur.

Tidspunkt	Størrelse mm	Temperatur	Filtration $\text{l t}^{-1} \text{ ind}^{-1}$	Antal ind m^{-1}	Volumen filtreret $\text{mio. m}^3 \text{ d}^{-1}$
Sept. 2010	29	13	1,6	3986	12,0
Dec. 2010	32	2	0,8	2229	3,7
Marts 2011	32	4	0,9	2364	4,5
	37	12	2,2	1951	9,7

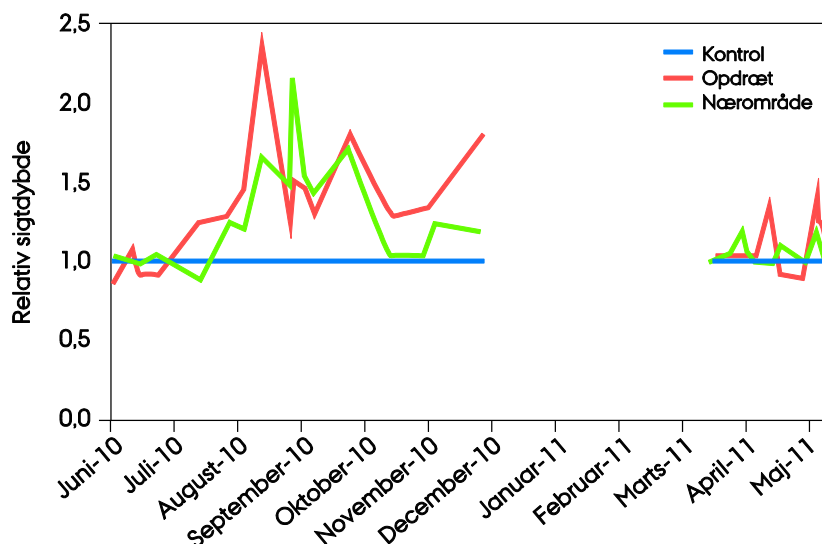


Figur 2.3. Udtynding af fytoplankton i Skive Fjord i og omkring et opdrætsanlæg. Den hvide firkant angiver anlæggets placering.

I projektet blev effekten af muslingernes filtrering kvantificeret både i intensive målekampanjer og i den løbende monitoring. I kampagneperioderne blev der ved hjælp af en såkaldt Acrobat, der med høj frekvens samler data om bl.a. klorofyl, mens den bliver trukket efter en båd, lavet kort over partikeludtyndingen i og omkring anlægget. Et sådant kort kan ses i figur 2.3. Af kortet fremgår det, at inde i anlægget bliver koncentrationen af fyttoplankton reduceret med op til 80 % af koncentrationen udenfor anlægget.

I den løbende monitoring omkring anlægget, som blev gennemført i hele produktionsperioden på nær fra december 2010 til marts 2011, hvor fjorden var isdækket, blev der målt sigtddybde på referencestationer samt inde i og omkring anlægget. For hele perioden er der signifikant og overvejende positiv effekt af anlægget på sigtddybden. Effekten er størst i efteråret 2010 og mindre efter isen forsvandt i foråret 2011 (figur 2.4). Den mindre effekt af anlægget kan tilskrives flere faktorer: a) generelt er koncentrationen af fyttoplankton i vandet lavere efter forårsopblomstringen sidst i marts 2010 sammenlignet med koncentrationerne i efteråret og dermed vil der være generelt højere sigtddybde om foråret i hele området; b) lave filtrationshastigheder hos muslingerne ved lave vandtemperaturer; og c) i forbindelse med gydningen i maj nedsætter muslingerne deres filtration.

Figur 2.4. Sigtdybde i opdræts-anlægget (opdræt) og 400 m syd for anlægget (nærområde) i Skive Fjord relativt til sigtddybden på kontrolstation (= 1), ca. 1,5 km nord for anlægget. Perioden uden data skyldes isdække.



Den endelige økologiske modellering af Skive Fjord i relation til muslinger som virkemiddel er først færdig ultimo 2013. Til brug for beregninger af virkemidlets effekt i relation til forbedring af lysforholdene er der gennemført en foreløbig modellering [6]. Denne modellering er baseret på en vandsøjle-model (1D) og består af et økologisk modul til beskrivelse af næringssalte, fyttoplankton og detritus koblet til en bestandsmodel for blåmuslinger. Modelscenarier viste, at en muslingebiomasse i vandsøjlen svarende til ét anlæg kan forbedre sigtddybden i hele fjorden med 3,7 % (12 cm), hvilket indikerer en ganske stor sigtdybdeeffekt forårsaget af linemuslinger. Disse estimater af øgede sigtdybder i relation til kompensationsopdræt er dog behæftede med betydelige usikkerheder og givetvis overestimerede, idet resultaterne stammer fra en 1D model. Modellen kan ikke beskrive horisontale forskelle og bygger dermed implicit på en antagelse om, at linemuslingerne er jævnt fordelt i hele fjorden.

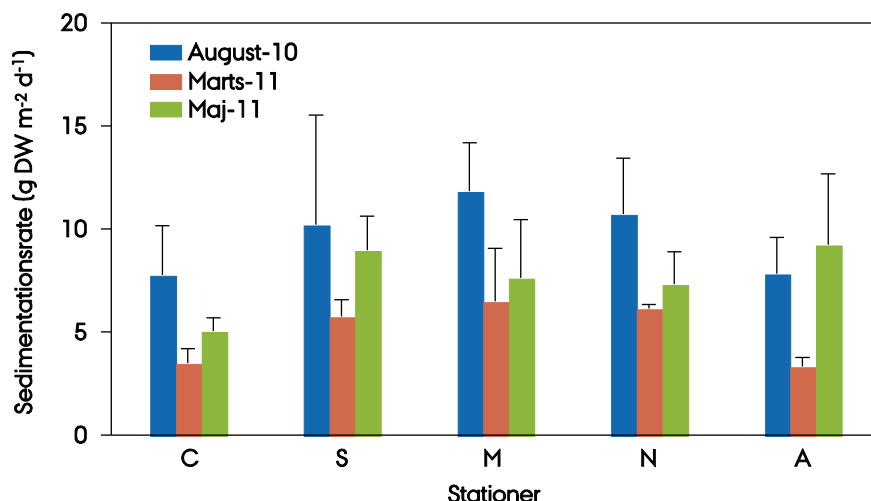
Værdien af potentielle sigtddybdeforbedringer kan illustreres via empiriske analyser af sammenhængen mellem sigtddybde og tilførsel af næringssalte [18], som viser, at en sigtddybdeforbedring på fx 3,7 % i Skive Fjord kræver en reduktion i tilførsler af kvælstof på 116 t N år⁻¹. Et kompensationsopdrætsanlæg i Skive Fjord kan således, udover at fjerne 17 t N år⁻¹ ved høst, potentielt forbedre sigtddybden svarende til en reduktion på 116 tons N år⁻¹. Hvis en sådan sigtddybdeforbedring inkluderes i de økonomiske beregninger, reduceres omkostningerne til 10-12 kr. kg⁻¹ N. Herved bliver kompensationsopdræt et særdeles omkostningseffektivt virkemiddel, hvor omkostningen pr. kg N ligger langt under omkostningerne for andre virkemidler. Det skal dog pointeres, at sigtddybdeeffekten ikke skyldes en reel fjernelse af kvælstof, men udelukkende er en sekundær effekt af muslingernes filtrering.

2.5 Effekt på sedimentation og sedimentets sammensætning

Dyrkning af muslinger vil i princippet lede til en øget sedimentation under opdrætsanlæggene sammenholdt med området udenfor. Den øgede sedimentation er et restprodukt af den del af muslingernes filtration af partikler, der ikke er endt som tilvækst af muslinger og er primært i form af muslingefækalier. Fordi faldhastigheden af fækalierne er forholdsvis høj [19] og vanddybderne og strømhastighederne i Skive Fjord er lave, vil fækalierne forventeligt lede til en øget organisk belastning lige under anlægget. Effekter på sedimentation og sammensætningen af sedimentet under bruget blev undersøgt i tre intensive målekampagner, hvor sedimentationen blev bestemt ved hjælp af sedimentfælder sat ud på prøvetagningsstationer under og uden for anlægget. Der blev ligeledes indsamlet sedimentkerner på de samme stationer til karakterisering af sedimentet.

Undersøgelserne viste en forøget sedimentation direkte under linerne (*figur 2.5*) i overensstemmelse med det forventede og tidligere undersøgelser fra Limfjorden [20]. Sedimentationen var lavere i kanterne sammenlignet med i midten af anlægget, og der var ingen tydelig forskel mellem de to ender, hvilket indikerer, at strømforholdene har begrænset effekt på spredningen af materialet. Der var en stor variation i sedimentationen i løbet af anlæggets produktionsperiode, og størrelsen af sedimentationen var ikke umiddelbart korreleret til den stående biomasse i anlægget. Således var sedimentationen størst, hvor der var mindst biomasse i anlægget i august-september 2010, sammenfaldende med en høj sedimentation i hele området. Sedimentationen var mindst i marts 2011, hvilket indikerer en tæt kobling til muslingernes biologiske aktivitet på anlægget, der som følge af lave temperaturer var lav i marts. I maj måned var der meget lille effekt af farmen på sedimentationen. Sedimentationen under midten af anlægget var i hele perioden forøget med 7-91 % sammenlignet med sedimentationen på referencestationer uden for anlægget.

Figur 2.5. Sedimentationshastigheder på 5 stationer midt i (M), i kanterne (S & N) og i kontrolområder uden for opdrætsanlægget (A & C) i Skive Fjord målt i august 2010, marts og maj 2011.



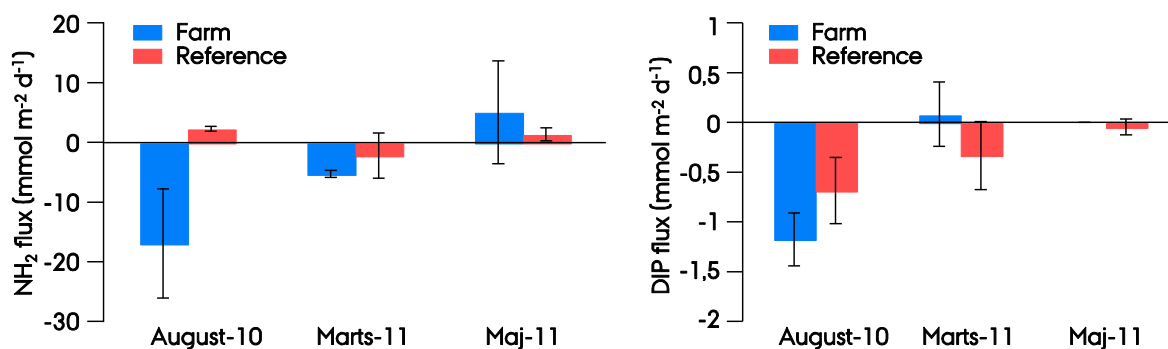
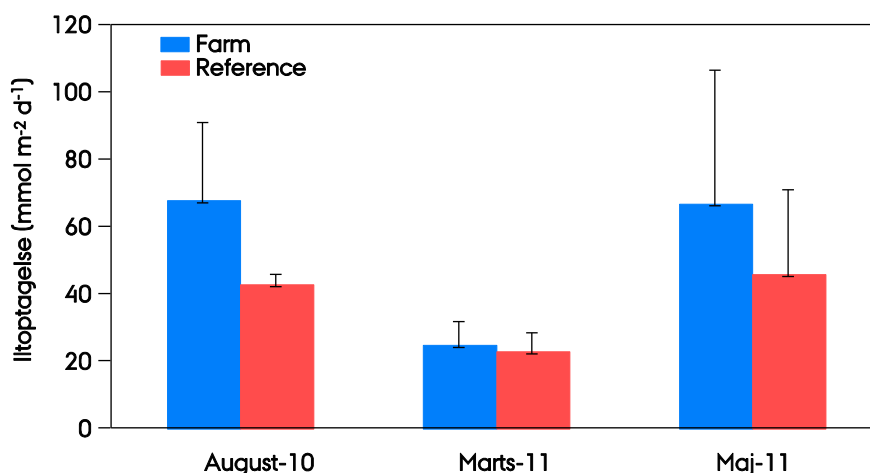
Med en forøget sedimentation under anlægget vil der forventeligt være effekter på sedimentets puljer af organisk stof og næringssalte. Under anlægget i Skive Fjord var puljerne svagt forhøjede i den centrale del af anlægget og faldende ud mod enderne af anlægget. Generelt var niveauet for puljerne højt også på referencestationerne (ca. 20 % organisk stof). Det er derfor vanskeligt at måle signifikante ændringer mellem stationer, og sæsonvariationen i puljerne på alle stationer overstiger generelt forskellen mellem stationer. Gennemsnitsværdierne i sedimentet lige under midten af anlægget var 12-59 % højere end målt i sediment på referencestationer uden for anlægget. Effekten af sæsonvariation var specielt tydelig for fosfor, hvor der var meget lave puljer i august måned på alle stationer, hvilket sandsynligvis er forårsaget af frigivelse af P under sommerens iltvind. Analyse af sedimentets kornstørrelse viste svagt forhøjede puljer af silt under anlægget, hvilket kan tilskrives sedimentation af fine partikler eller lavere resuspension af sedimentet sammenlignet med referencestationerne. Sulfidpuljerne i sedimentet var i modsætning til det forventede højest på referencestationen. Generelt var sulfidpuljerne meget høje i Skive Fjord, hvilket vanskeliggør detektion af små ændringer. Der var en årstidsvariation i overfladesedimentets sulfidpuljer med højeste puljer i august, formentlig som følge af opbygning af sulfid under iltvindperiode, og lavere puljer i marts og maj efter reoxidation af puljerne over vinteren. Variationen var mest udbredt på referencestationen. Der var stort set ingen bentisk fauna til stede, hverken på stationerne under anlægget eller på referencestationerne, sandsynligvis som følge af de hyppige iltvind i Skive Fjord.

2.6 Effekter på sedimentprocesser

Sedimentets ilt- og næringssaltdynamik er normalt langt mere sensitive mål for effekter af organisk berigelse end sedimentationen eller sedimentets puljer af næringssalte og organisk materiale. I projektet blev der målt på sedimentprøver indsamlet midt under anlægget og sammenlignet med prøver fra en referencestation. Der var meget små og ikke signifikante forskelle mellem de to stationer, dog med tendens til forhøjede rater under anlægget i august og maj. Sedimentets iltoptagelse var lavt i marts måned, formentlig styret af en lav vandtemperatur hen over vinteren. Der var således ikke samme direkte sammenhæng mellem biomassen i anlægget og sedimentets iltoptagelse (figur 2.6), som der er fundet i andre undersøgelser [20], hvor der er fundet sammenhæng mellem sedimentets iltoptagelse og næringssaltdynamik og biomassen af muslinger i anlæggene. Der var i de aktuelle undersøgelser en tættere korrelation til den faktiske sedimentation uafhængig af sta-

tion og dermed af effekten af anlægget, hvilket betyder, at sedimentets omsætning i Skive Fjord er styret af det generelle organiske input fra vandfasen og dermed den høje biologiske aktivitet i hele fjorden. I august måned blev der fundet et optag af fosfat (figur 2.7) på begge stationer, formentlig som følge af oxidation af sedimentet efter en iltsvindperiode. Der var samtidig et optag af ammonium på stationen under anlægget som følges af en frigivelse af nitrat, hvilket kan tyde på en stimulering af denitrifikationen efter en længerevarende iltsvindperiode. Tilsvarende stimuleret denitrifikation er fundet i sedimenter under andre muslinge anlæg [21]. I marts var næringssaltfluxene generelt lave med et optag af både ammonium og nitrat (figur 2.7) formentlig som følge af høje koncentrationer af de to næringssalte i vandfasen efter vinterens omrøring, mens der i maj måned var større fluxe på stationen under anlægget med et optag af nitrat og frigivelse af ammonium og fosfat. Dog var variationen på de enkelte målinger meget høj, og der skal måles på flere replikater for at kunne dokumentere en effekt af anlægget.

Figur 2.6. Sedimentets iltoptagelse under opdrætsanlægget (Farm) og på en kontrolstation (Reference) i Skive Fjord målt i august 2010, marts og maj 2011.



Figur 2.7. Næringssaltfluxe (ammonium, NH₄ og fosfat, DIP) fra sedimentet under opdrætsanlægget (Farm) og på en kontrolstation (Reference) i Skive Fjord målt i august 2010, marts og maj 2011.

2.7 Akkumulering af miljøfremmede stoffer

I løbet af projektperioden blev der foretaget en del prøvetagninger af vand, sediment og muslinger med henblik på at måle evt. uhensigtsmæssig bioakkumulering af miljøfremmede stoffer i miljømuslinger. Biomagnificeringen fra vand til muslinger var i Skive Fjord stort set som fundet i andre studier. Placeringen af miljømuslingerne i vandsøjlen kombineret med normale niveauer for koncentrationer i vandfasen i Skive Fjord medførte, at koncentrationerne af miljøfremmede stoffer (dioxin og tungmetaller) i miljømuslingerne generelt var lave og under grænseværdierne for fx fersk konsum. I forarbejdede muslinger, fx tørrede eller i muslingemel, var koncentrationerne af miljøfremmede stoffer ligeledes under alle anbefalede grænseværdier (tabel 2.4). Koncentrationerne af arsen (As) var over den generelle grænseværdi for foder, men under grænseværdien for foder lavet af havdyr (Direktiv 2002/32/EF) og ligeledes under grænseværdien for human konsum. As er sandsynligvis til stede som arsenobetain og arsenosukre, som ikke er toksiske.

Tabel 2.4. Koncentrationer af udvalgte miljøfremmede stoffer i muslinger og muslingemel fra Skive Fjord samt grænseværdier for miljøfremmede stoffer i foder og fødevarer lavet af havdyr.

Metal	Muslinger målt	Grænseværdi, Foder	Grænseværdi, fødevarer
	mg/kg	(som 12 % TS)	
As (arsen)	3,6-6,1	10	25
Cd (cadmium)	0,25-1,12	2	-
Pb (bly)	0,1-0,2	10	-
Hg (kviksølv)	< 0,05	0,1	0,5
Dioxin (TEF PCDD/F 1997)	0,23-0,33	0,75	1,25
Dioxin + dioxin lign.	0,50-0,66	1,25	4,5

2.8 Samlet vurdering

De konkrete undersøgelser i Skive Fjord har vist et realiseret fjernelsespotentiale på i størrelsesordenen 0,6-0,9 ton N ha⁻¹ år⁻¹. Fjernelsen vil afhænge af sæson, og der er en vis usikkerhed forbundet med estimatet. Testanlægget var ikke designet til maksimal fjernelse, der var isdække i mere end 2 måneder med deraf følgende nedsat vækst af muslingerne og selvom der var fin overensstemmelse mellem estimeret biomasse og faktisk høstet biomasse ved de tre afhøstninger, er estimererne af de endelige mængder behæftet med en vis usikkerhed, da en del af den tilbageværende biomasse i maj 2011 blev efterladt til ejeren af anlægget. Det er vores vurdering, at udbyttet kunne være øget med op til 20-25 % og, at det opnåede er minimum for et anlæg i Skive Fjord. Endvidere lå de målte koncentrationer af især kvælstof i muslingerne betydeligt under, hvad der er normalt for linemuslinger. Det er på den baggrund overvejende sandsynligt, at anlægget under optimerede forhold kunne have produceret en større biomasse af muslinger og ved høst en større fjernelse af næringssalte på det samme areal.

Omkostningerne ved brug af muslinger som virkemiddel i Skive Fjord inkluderer ikke anvendelse af miljømuslingerne, og omkostningerne pr. kg N vil blive reduceret ved salg af muslingerne. Koncentrationer af miljøfremmede stoffer i miljømuslingerne vil ikke være en forhindring for deres anvendelse. Inkludering af sigtgydeeffekten baserer sig på modelberegninger (1D), og antagelser om sammenhængen mellem næringssaltbelastning og

sigtdybde er følgelig behæftet med en betydelig usikkerhed. Denne usikkerhed kan ikke umiddelbart kvantificeres, før de endelige modelberegninger i 3D er gennemført, men vi antager, at den er i størrelsesordenen ± 50 %. På nuværende tidspunkt er effekten af opdrætsanlæg på sigtdybden ikke kvantificeret på bassinskala. Dette vil kræve økologiske modellering. Resultaterne af den økologiske modellering forventes at foreligge ultimo 2013.

Sammenfattende for miljøeffekter på bunden var det vanskeligt at detektere effekter af organisk berigelse fra anlægget på sedimentet. Sedimentationsraterne indikerer, at der er en forøget sedimentation under anlægget i størrelsesordenen 7-91 % og, at det giver anledning til en berigelse af sedimentet på 12-59 %. Da sedimentationsraterne og sedimentets puljer af organisk materiale allerede er høje, gav de forøgede rater og puljer kun i begrænset omfang en effekt på sedimentets iltoptagelse og næringssaltdynamik, som i langt højere grad var styret af den samlede sedimentationsrate og vandtemperaturen med lave rater i vinterperioden på begge stationer som følge af lavere sedimentation og lavere vandtemperatur. Kun sidst i perioden i maj måned med høj biomasse i anlægget var der en tendens til øgede næringssaltfrigivelse fra sedimentet under anlægget, men ændringerne var ikke signifikante grundet en stor heterogenitet i raterne. Der var ingen målbare effekter på bundfaunaen, som var yderst sparsom i Skive Fjord. Ej heller var der effekter på sedimentets sulfidpuljer, som var højere på referencestationen sammenlignet med anlægsstationen.

3 Nationalt perspektiv

De specifikke resultater fra Skive Fjord kan ikke uden videre omsættes til generelle effekter af muslinger som virkemiddel på nationalt plan. En række faktorer påvirker både de praktiske og biologiske muligheder for dyrkning af miljømuslinger, ligesom det kan forventes, at effekten på det benthiske miljø af den forøgede sedimentation under anlæggene vil variere fra område til område. I det følgende er danske fjorde blevet klassificeret som værende egnede, måske egnede eller uegnede på baggrund af enkelte basale parametre. Analysen er begrænset til fjorde, fordi det er i fjordene, at betydningen af de nationale tilførsler fra land er af størst betydning og, hvor vandplanernes reduktionsmål og forslag til terrestriske virkemidler vil have de største effekter. Derudover er de primære erfaringer i Danmark med opdræt af muslinger gjort i fjordområder og alle beregninger og antagelser baserer sig på opdræt i fjordområder. Endelig vil effekter af muslinger som virkemiddel på sigt dybden primært kunne detekteres i afgrænsede bassiner som fjorde. Det betyder ikke, at kompensationsopdræt ikke kan implementeres i mere åbne kystnære områder, fx i relation til havbrug, men her er betydningen af de nationale kilder til eutrofiering mindre og effekten af kompensationsopdræt vil ligeledes være mindre. I de åbne områder vil høst af miljømuslinger dog stadig medføre en fjernelse af næringssalte proportionalt med mængden af høstede muslinger.

3.1 Udbredelsepotentiale for kompensationsopdræt

Klassifikationen af områder som værende henholdsvis "egnede", "måske egnede og ikke egnede til dyrkning af miljømuslinger er baseret på de fysiske og biologiske parametre, som kan anses for at være af størst betydning for muslingeproduktionen og dermed virkemidlets effektivitet. De valgte parametre er vanddybde, fødebetingelser i form af koncentration af fytoplankton (klorofyl) og biologiske begrænsninger som saltholdighed, forekomst af prædatorer og rekrutteringsgrundlag for settling på anlæggene. De benyttede grænseværdier til klassifikationen er vist i tabel 3.1.

Tabel 3.1. Grænseværdier benyttet til en overordnet vurdering af områdernes egnethed til kompensationsopdræt. Se den efterfølgende tekst for forklaring og referencer på de benyttede grænseværdier.

Parameter	Optimale forhold	Suboptimale forhold
Dybde	≥ 5 m	< 5 m
Sommer klorofyl	≥ 3 ug l ⁻¹	< 3 ug l ⁻¹
Saltholdighed	≥ 10 PSU	< 10 PSU
Edderfugle	< 10 ind. km ²	> 10 ind. km ²
Blåmuslinger	Ja	Nej

Der findes ikke definerede, absolutte grænseværdier for, hvornår fødetilgang, saltholdigheder og antallet af prædatorer vil have en signifikant indvirkning på virkemidlets effektivitet, og de benyttede grænseværdier er derfor baseret på en overordnet erfaringsbaseret vurdering af, hvornår effektiviteten af virkemidlet potentielt vil være reduceret. En basal forudsætning for kompensationsopdræt er, at der er tilstrækkelig vanddybde til at have en arealeffektiv produktion. Grænseværdien på 5 m er valgt, fordi der med en dybde på 5 m vil være mulighed for undersænkning af et opdræt på 2 m's højde uden at risikere, at anlægget rammer bunden. Der vil givetvis kunne

udvikles effektive opdrætsmetoder til mere lavvandede områder, men enhver reduktion af højden af opdrætsmedierne vil begrænse produktionen og dermed arealeffektiviteten. Med de kendte teknologier klassificeres fjordområder med vanddybder < 5 m som uegnede.

Biologisk er produktion af blåmuslinger i danske farvande primært begrænset af fødetilgang og sekundært af saltholdighed, rekruttering og prædation. Muslingernes væksthastighed eller produktion vil afhænge af fødekonzentrationen. Det er i danske farvande vist, at blåmuslinger kan have en betydelig væksthastighed ved koncentrationer af klorofyl ned til $2\text{--}3\ \mu\text{g l}^{-1}$ [22] og $3\ \mu\text{g l}^{-1}$ er derfor valgt som grænseværdi til adskillelse mellem optimale og suboptimale produktionsforhold. Ikke nødvendigvis af samme størrelse som i Skive Fjord, men stadig tilstrækkeligt til at opretholde en betydende produktion, dog afhængig af vandudskiftningen omkring muslingerne. Ved saltholdigheder under 10 PSU er der målt betydeligt reducerede væksthastigheder hos muslinger [23]. Udover væksthastigheden afhænger produktionen også af rekruttering af muslingelarver på bænderne og af prædation af muslinger i løbet af vækstperioden. De væsentligste prædatorer i danske farvande er edderfugle, søstjerner og strandkrabber. Muslinger dyrket i vandsøjlen bliver dog primært præderet af edderfugle, da de hænger for højt over bunden til at krabber og søstjerne kan nå dem. Tætheden af edderfugle er anvendt som proxy for prædationstrykket og en grænseværdi på 10 ind. km^{-2} er brugt til at definere et betydende prædationstryk. Rekruttering til produktionen via larver af blåmuslinger fordrer tilstedeværelse af blåmuslinger i det givne fjordområde. De valgte grænseværdier i klassifikationen er ikke et udtryk for, om der kan dyrkes muslinger i et givet område eller ej. For eksempel kan der i Storebælt dyrkes muslinger ved lavere sommerkoncentrationer af klorofyl end $2\ \mu\text{g l}^{-1}$, fordi vandudskiftningen og dermed muslingernes fødetilførsel generelt er højere end i fjordområder med generelt lavere strømhastigheder. Tilsvarende kan der vokse muslinger ved lavere saltholdigheder < 10 PSU, men ved meget lave saltholdigheder skal muslingerne bruge en så stor del af fødens energi på osmoregulering, at væksten er betydeligt reduceret og dermed også effektiviteten af virkemidlet. Omvendt er det heller ikke givet, at kompensationsopdræt vil være lige så effektivt tæt på de angivne grænseværdier, som case study fra Skive Fjord i 2010-11 var det.

Klassificeringen af fjordene er baseret på data fra Farvandsvæsenet (bathymetri) og overfladevandsdatabasen (ODA) med sidstnævnte baseret på målinger på NOVANA-stationer i perioden 2000-2005, hvor antallet af overvågningsstationer og frekvensen af målinger var tilstrækkelig høj til beregning af års- og sæsongennemsnit samt få et ensartet sammenligningsgrundlag mellem fjordområderne. Saltholdighed er beregnet som årsmiddel, klorofyl som sommerkoncentrationen (gennemsnit i perioden april til oktober) og blåmuslinger som plus/minus tilstedeværelse. Edderfugle er opgjort som antallet af edderfugle opgjort ved totaltællinger i vinteren 2007/2008 [24].

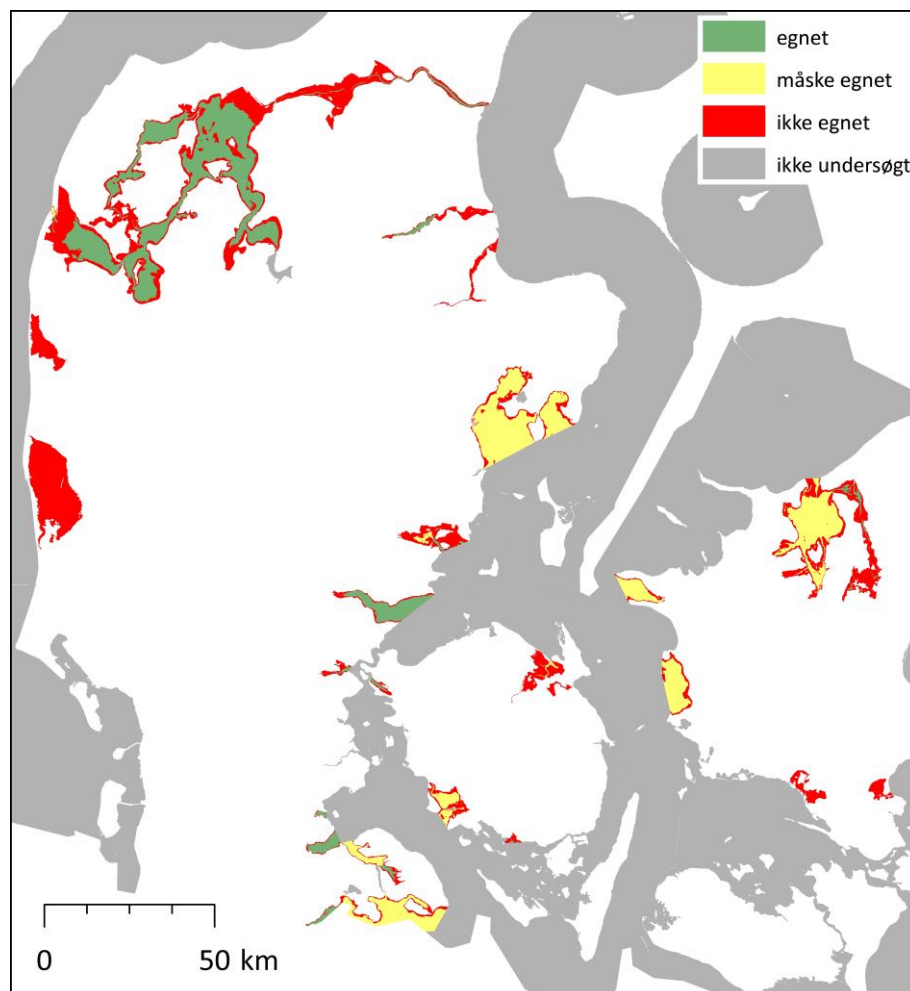
Tabel 3.2. Parametre til klassificering af danske fjordes egnethed til kompensationsopdræt. Grænseværdier for parametrene er: vanddybde > 5 m, sommer klorofyl > 3 µg l⁻¹, saltholdighed > 10 PSU, tæthed af edderfugle < 10 ind. km⁻², rekruttering er angivet som ± tilstedeværelse af voksne blåmuslinger. Eget areal angiver det samlede areal i hver fjord, som vurderes at være egnet til kompensationsopdræt. Arealangivelser i parentes indikerer, at biomasseudbyttet i disse områder må forventes at være reduceret på grund af edderfugle og/eller lav fødetilgængelighed.

Fjord	Dybde	Klorofyl	Saltholdighed	Edderfugle	Muslinger	Eget areal km ²
Skive Fjord	✓	✓	✓	✓	✓	9,6
Lovns Bredning	✓	✓	✓	✓	✓	43,4
Løgstør Bredning	✓	✓	✓	✓	✓	265,0
Riisgårde, Hvalpsund, Bjørnholm Bugt	✓	✓	✓	✓	✓	84,7
Thisted Bredning	✓	✓	✓	✓	✓	55,6
Nisum Bredning	✓	✓	✓	✓	✓	112,4
Augustenborg Fjord	✓	✓	✓	✓	✓	6,1
Flensborg Fjord, indre	✓	✓	✓	✓	✓	10,5
Flensborg Fjord, ydre	✓	✓	✓	-	✓	(121,4)
Åbenrå Fjord	✓	✓	✓	✓	✓	27,4
Vejle Fjord	✓	✓	✓	✓	✓	89,4
Horsens Fjord	✓	✓	✓	-	✓	(13,5)
Mariager Fjord	✓	✓	✓	✓	✓	12,6
Isefjord	✓	✓	✓	-	✓	(207,3)
Roskilde Fjord	✓	✓	✓	✓	✓	16,1
Kalundborg Fjord	✓	-	✓	✓	✓	(47,4)
Randers Fjord, indre	-	✓	-	✓	-	0
Randers Fjord, ydre	✓	✓	✓	✓	✓	0,4
Århus Bugt, Kalø	✓	-	✓	-	✓	(218,5)
Nakkebølle Fjord	✓	✓	✓	✓	✓	0,9
Gamborg Fjord	✓	✓	✓	✓	✓	3,9
Kolding Fjord	✓	✓	✓	✓	✓	3,4
Odense Fjord, nord	✓	✓	✓	-	✓	(5,0)
Odense Fjord, syd	-	✓	✓	✓	✓	0
Præstø Fjord	-	✓	-	✓	✓	0
Nisum Fjord	-	✓	-	?	?	0
Ringkøbing Fjord	-	✓	-	?	-	0
Karrebæk Fjord	-	✓	✓	-	✓	0
Dybsø Fjord	-	✓	-	-	-	0
Kerteminde Fjord	✓	✓	✓	✓	✓	0,4

Resultatet af klassifikationen er vist i *tabel 3.2* og *figur 3.1*, hvoraf det fremgår, at 8 af de undersøgte danske fjorde opfylder alle de opstillede kriterier for områder som velegnede til kompensationsopdræt. Disse er: Limfjorden, Roskilde Fjord, Gamborg Fjord samt de østjyske fjorde Vejle, Mariager, Kolding, Augustenborg, Åbenrå og Flensborg Fjord. Derudover er en række andre fjorde potentielt egnede til dyrkning af muslinger, men sandsynligvis med reduceret effektivitet. I nogle områder indikerer dybdeforhold, fødetilgængelighed og saltholdighed, at områderne er velegnede til kompensationsopdræt som fx Isefjorden, Horsens Fjord, den ydre del af Flensborg Fjord og den nordlige del af Odense Fjord, men forekomsten af edderfugle er en potentiel begrænsning. Brug af muslinger som virkemiddel i disse områder vil kræve, at der tages forholdsregler til begrænsning af prædationen, fx gennem brug af net omkring anlæggene. Dette vil dog sandsynligvis øge omkostningerne for kvælstoffjernelsen og dermed reducere virkemidlets omkostningseffektivitet. En række andre områder er desuden klassificerede

som kun potentielt egnede, fordi fødetilgængeligheden er lav (Kalundborg Fjord, Århus Bugt), eller fordi områderne med tilstrækkelig vanddybde er meget begrænsede (Kerteminde Fjord, Odense Fjord). For hovedparten af de resterende fjorde, herunder Nakkebølle, Nisum, Præstø, Ringkøbing, Karrebæk og Dybsø Fjorde er vanddybden generelt under 5 m og er derfor ikke egnet til kompensationsopdræt med kendte teknikker og endvidere er salt-holdigheden i flere af disse fjorde meget lav.

Figur 3.1. Klassifikation af områder i danske fjorde som vurderes at være hhv. velegnede (grøn), måske egnede (gul) og ikke egnede (rød) til kompensationsopdræt baseret på parametrene beskrevet i tabel 3.1 og 3.2.



Screeningen viser, at der i hovedparten af de undersøgte fjorde vil være områder, som sandsynligvis er egnede til kompensationsopdræt af muslinger, men også at biomasseudbyttet i nogle fjorde potentielt kan være reduceret primært som følge af prædationstryk fra edderfugle. Undersøgelsen er udelukkende baseret på fysiske og biologiske faktorer, som kan være en begrænsende faktor for kompensationsopdræt, og der er ikke taget hensyn til, om de udpegede arealer bruges til andre formål, som fx sejllads eller til rekreative områder.

3.2 Negative miljøeffekter

Opdræt af muslinger vil medføre forøget sedimentation af organisk materiale under opdrætsanlæggene sammenlignet med uden for anlæggene. Det er vist i Skive Fjord, i andre dele af Limfjorden [20] og i internationale studier [6]. Det vil også gælde ved brug af kompensationsopdræt i andre danske fjorde, og da der generelt er en sammenhæng mellem produktionsmængde og sedimentation [20], vil sedimentationen under kompensationsopdræt

sandsynligvis endda være større end under anlæg til opdræt af konsummuslinger som følge af de forventede større biomasser ved dyrkning af miljømuslinger. Sedimentationen vil endvidere fortrinsvis være koncentreret lige under og i den umiddelbare nærhed af opdrætsanlæggene, da faldhastighed af fækaliene er høj [19] og vanddybderne og strømhastighederne i danske fjorde generelt er lave. Bølgedrevet resuspension af sedimenter og dermed af muslingefækalier kan forekomme i lavvandede områder, men den primære effekt vil være lige under anlæggene. Det har to væsentlige konsekvenser: a) det bundareal, der påvirkes af opdrætsanlæggene vil være af begrænset arealmæssig udbredelse, stort set svarende til arealet af anlæggene; og b) fækaliene vil kun i meget begrænset omfang påvirke vandfasen, hvilket yderligere understøttes af, at omsætningen af muslingefækalier har en lag-fase, hvor den mikrobielle omsætning først stimuleres efter ca. et døgn [19].

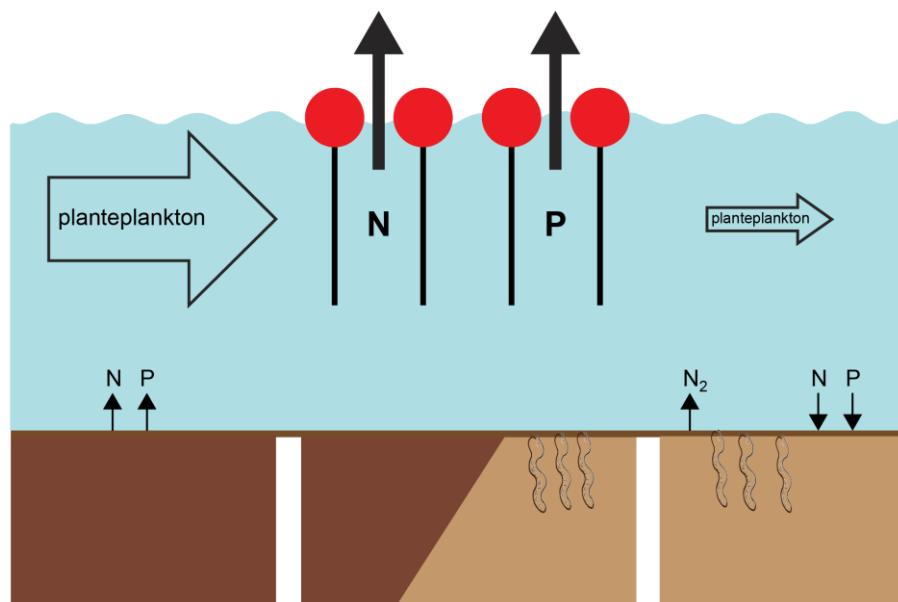
Størrelsen af den relativt forøgede sedimentation vil afhænge af en række faktorer, hvoraf især baggrundssedimentationen er af betydning. Med høje niveauer af baggrundssedimentation, som fundet i Skive Fjord og Limfjorden generelt, vil det være vanskeligt at detektere signifikante effekter på sedimentationen i forbindelse med opdræt af miljømuslinger. Der eksisterer meget få målinger af sedimentation i danske fjorde, og de kontrollerende faktorer for lokal sedimentation er således ringe belyst. Det kan imidlertid antages, at koncentrationen af fytoplankton i et givent område vil kunne bruges som proxy for sedimentationen, og der vil således være et sammenfald mellem dels fødegrundlag for muslingerne og den relative betydning af potentielle miljøeffekter ved kompensationsopdræt.

Betydningen af den forøgede sedimentation under opdrætsanlæg på sedimentet har vist sig svær at måle. I Limfjorden betyder generelt høje puljer af organisk indhold i sedimentet (12-24 % tørvægt), at selv en forøget sedimentation vil være vanskelig at detektere, men det gælder også for sedimenter med lavere organisk indhold. Eksperimentelle målinger i Nørrefjord (Fyn), hvor sedimenterne har et organisk indhold på 1-2 % tørvægt, viste, at det ikke er muligt at detektere signifikante effekter af dosering af muslingefækalier svarende til en muslingefarm over en periode på tre uger [25]. En væsentlig faktor for effekten af den forøgede sedimentation er sammensætningen af muslingefækalier, som ligner den naturlige sedimentation, fordi muslingernes primære fødekilde er fytoplankton og andet suspenderet materiale. Dette adskiller sig fra fx affaldsprodukter fra havbrug, som med en unik sammensætning med højt indhold af olie, protein og kulhydrat kan spores i sedimentet [26], hvor det stimulerer de mikrobielle processer, hvilket ikke er tilfældet for muslingefækalier [20]. Dyrkning af miljømuslinger kan derfor forventes at have en begrænset effekt på de organiske puljers størrelse og sammensætning i fjorde og kystnære sedimenter.

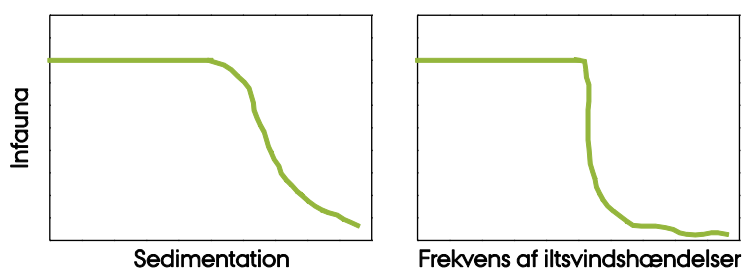
Berigelsen af sedimenterne under og lige omkring opdrætsanlæg vil i nogen grad stimulere sedimentets omsætning og næringssaltdynamik. I Skive Fjord og lignende belastede områder vil sedimentets iltoptagelse i langt overvejende grad være styret af variationer i den almindelige sedimentation, og den forøgede sedimentation under anlægget vil ikke give ophav til signifikant forøgelse af iltoptagelsen. En forarmet bundfauna vil have betydning for omsætningen i sådanne områder. I fjorde og kystnære områder med en mere betydende bundfauna kan man forvente, at denne dels konsumerer det organiske stof og dels stimulerer den mikrobielle omsætning af muslingefækalier og dermed forhindrer, at der sker en akkumulering af organisk stof

under anlæggene (figur 3.2). Generelt stimulerer infauna omsætningen af organisk stof i sedimentet, men effekten kan variere afhængig af art, tæthed og bioturbationsaktivitet [27]. Faunaens sammensætning og tæthed er afhængig af en række faktorer, og i fx Skive Fjord er hyppige iltsvind medvirkende til en sparsom fauna. Sedimenternes beskaffenhed i form af meget finkornet sediment med højt indhold af sulfid gør desuden, at kun ganske få arter kan etablere sig efter iltsvindshændelser (figur 3.3).

Figur 3.2. Konceptuel figur af miljømuslinger og bentisk miljøpåvirkning.



Figur 3.3. Infaunaens tilstedeværelse i sedimentet er afhængig af flere faktorer, hvoraf sedimentation og iltsvind er nogle af de mest betydende. Ved høje sedimentationsrater, som fører til iltsvind ved bunden, forsvinder infaunaen.



Fluxe af næringssalte ind og ud af sedimentet hænger tæt sammen med sedimentets omsætning, og kan forventes at stige som følge af den organiske belastning. Netop stimuleret omsætning og deraf øgede fluxe af næringssalte ud af sedimentet har været rejst som et kritisk punkt af brug af miljømuslinger som virkemiddel [28]. I Skive Fjord er næringssaltfluxene styret af forekomster af iltsvind og lave temperaturer i vinterperioden og kun i begrænset omfang af biomassen af muslinger i anlægget, og her er det således eksterne faktorer, som har den største betydning. Og iltsvind bliver ikke i sig selv genereret af opdrætsanlæg, men af de generelle biologiske og fysiske betingelser i et givet område [29]. Det gælder også til dels på de øvrige lokaliteter i Limfjorden, men her spiller biomassen i anlæggene en rolle for frigivelse af ammonium og fosfat fra sedimentet [20]. Der kan således ved høje biomasser efter ½-1 års drift forventes en øget frigivelse af N og P fra sedimentet, men faktorer som sammensætningen og aktiviteten af bundfauna eller forekomsten af iltsvind i området kan ændre på disse forhold. Således

kan en sund og artsrig bundfauna oxidere sedimentet og sikre omsætning af det organiske stof, og udeblivelse af iltsvind vil føre til, at P bindes i sedimentet. Tilstedeværelse af bundfauna og udeblivelse af iltsvind har også betydning for sedimentets sulfidpuljer, og ved en sparsom bundfauna ses en akkumulering af sulfid i sedimentet, som i sig selv kan forhindre sensitiv bundfauna i at etablere sig. Høje sulfidpuljer har også betydning for denitrifikationen i sedimentet. Den vil være hæmmet ved tilstedeværelse af sulfid. Undersøgelser viser dog, at denitrifikationen kan stimuleres i muslingesedimenter som følge af den organiske berigelse, og der er således en række faktorer, som har betydning for N-kredsløbet i muslingesedimenter [30]. Fosfatdynamikken er i vid udstrækning styret af oxidationsforhold i sedimentet, hvor reducerede forhold, fx under iltsvind, kan føre til endog meget store frigivelser af fosfat. Puljerne reetableres ofte igen umiddelbart efter iltsvindsførelse.

Sammenfattende viser de mange undersøgelser af muslingeanlæg i Danmark og udlandet, samt af fuldskalaanlæg med miljømuslinger, at den organiske berigelse af sedimentet er begrænset til farmens areal og umiddelbare nærhed. Berigelsen er begrænset og under eutrofierede forhold er det vanskeligt at måle effekter direkte koblet til muslingeproduktion, idet variationer i naturlige processer ofte har større effekt på sedimentets omsætning og beskaffenhed. Der er således ikke belæg for, at muslingeproduktion fører til generelt forringede sedimentforhold og at nettojernelse af N og P kompromitteres af forhøjede frigivelser og hæmmet denitrifikation i sedimenterne. Derimod er der under eutrofierede forhold en positiv effekt på lysforholdene, som kan stimulere væksten af rodfæstede planter, der i sig selv er et naturligt filter for næringssalte.

3.3 Regenerering efter påvirkning fra opdrætsanlæg

Baseret på målinger af sedimentation og omsætning af organisk materiale i sedimentet på et fuldskalaanlæg i Limfjorden er der tidligere lavet beregninger af regenerering af sedimentet efter et til flere års produktion [6]. Da der endnu ikke findes regenereringsstudier af sedimenter under muslingefarme, er det nødvendigt med en lang række antagelser, og disse er beskrevet i [6]. Grundet den høje sedimentation i Limfjorden er forskellen i regenereringstiden mellem en referencestation og en station under en muslingefarm begrænset og tiden for regenerering af sedimentet efter et års produktion blev estimeret til 0,4 år længere, dvs. at det tager 2,4 år at omsætte det organiske stof, som er sedimenteret i løbet af et års produktion i et farmsediment mod 2,0 år i et naturligt eutrofieret sediment. En væsentlig årsag til den lille forskel er en høj omsætningshastighed af fækaliepilller, hvor laboratorieforsøg har vist, at mineraliseringen af fækaliepilller er høj lige efter frigivelse og, at den aftager eksponentielt inden for den første uge, hvor 70 % af det organiske materiale tabes [19]. Der er således kun en mindre pulje tilbage, som undergår langsom mineralisering. På baggrund af disse forsøg blev det beregnet, at henholdsvis et og 10 års produktion vil være omsat 0,7 og 8 år efter, at produktionen ophører på lokaliteten, hvilket stemmer godt overens med beregningerne ovenfor baseret på målt sedimentation. Faktorer som tilstedeværelse af bunddyr, resuspension af sedimentet og iltsvind er ikke indregnet og kan påvirke raterne både positivt og negativt, men overordnet set er der tale om korte regenereringstider ved få års produktion. Rotationsdrift med flytning af farmene, fx efter to-tre års produktion, kan derfor nedsætte akkumuleringen af organisk materiale i sedimentet og dermed forhindre en overskridelse af bærekapacitet og forværring af forholdene i eutrofierede hotspots.

3.4 Anvendelse af miljømuslinger

Disponering af muslingerne efter de er høstet er af stor betydning for den praktiske gennemførelse og de økonomiske omkostninger ved brug af muslinger som virkemiddel. I Danmark er koncentrationer af miljøfremmede stoffer, på nær ganske få hot spots, under grænseværdierne, og miljømuslinger er derfor som udgangspunkt egnede til føde for både mennesker og dyr. Imidlertid er der nogle omstændigheder ved miljømuslinger, der ikke gør det sandsynligt, at de kan bruges på markedet for ferske muslinger til human konsum. Først og fremmest er miljømuslinger produceret for at maksimere biomassefjernelsen, og de er dermed ikke af en kvalitet, der gør dem egnede til ferskvaremarkedet. For det andet vil der selv med en optimering af kvaliteten ikke være et marked for de mængder miljømuslinger, som er aktuelle for, at miljømuslinger kan være et virkemiddel af kvantitativ betydning. For det tredje viser eksemplet fra Lysekil, at det er forbundet med en ikke ubetydelig risiko for manglende målopfyldelse, hvis miljømuslinger bindes til ferskvaremarkedet. Miljømuslinger skal følgelig også kunne anvendes til andre formål.

- *Forarbejdede muslinger til human konsumtion.* En væsentlig udfordring ved hurtigtvoksende blåmuslinger er, at de er tyndskallede og derfor svære at forarbejde maskinelt. Desuden vil miljømuslinger som udgangspunkt være små. Imidlertid har en undersøgelse [31] vist, at miljømuslinger høstet i Skive Fjord i marts og maj har en tilstrækkelig stor kødklump og kan forarbejdes og bruges til kogte muslinger med henblik på salg som løsfrosne muslinger eller konserveres. Danmarks største industrielle forarbejdningsvirksomhed for muslinger, Vilsund Blue, vurderede således, at de alene ville kunne aftage 9.000 t miljømuslinger årligt til en pris, der vil kunne dække den største del af de budgetøkonomiske omkostninger ved miljømuslingeproduktion.
- *Foderingrediens.* Husdyrproduktionen i både Danmark og Europa står over for betydelige udfordringer, fordi fiskemel, som anvendes som standard i husdyrfoder, er en begrænset ressource. Muslingekød har et højt indhold af protein (61 % af tørstof) og essentielle aminosyrer (methionin, cystein, lysin) og er desuden en potentiel kilde til langkædede flerumættede fedtsyrer (PUFA) og vil i mange sammenhænge forventes at kunne erstatte eller supplere fiskemel som proteinkilde til husdyrfoder [8]. Der er i dag tekniske udfordringer forbundet med at gøre miljømuslinger til en rentabel foderingrediens. Hvis muslingerne skal blive til mel, skal kødet kunne adskilles fra skallen. Denne proces er i dag ikke optimeret til små tyndskallede muslinger og er ret bekostelig. Bestemmelserne i biproduktforordningen tillader forarbejdningsmetoder, der ikke nødvendigvis omfatter varmebehandling, men så til gengæld kræver, at produktet er testet for overholdelse af mikrobiologiske krav, herunder indhold af forskellige former for bakterier. Der er således tekniske udfordringer, før miljømuslinger kan anvendes som foderingrediens. Løses disse udfordringer, er det imidlertid sandsynligt, at hele produktionen af miljømuslinger kan anvendes som foderingrediens. Det er især sandsynligt, at miljømuslinger ville kunne være af betydning i relation til økologisk husdyrhold, da økologisk foder i fremtiden udelukkende må være fremstillet af økologiske produkter. Afhængig af råvaremarkedet kan salg af miljømuslinger til foderproduktion forventes at indbringe en betydelig del af de budgetøkonomiske omkostninger ved produktion af disse.

- *Jordforbedring.* Det er ved forsøg i Sverige [32] dokumenteret, at muslinger med fordel kan bruges som jordforbedrende middel. Virkningen var bedst ved brug af ubehandlede muslinger, men komposterede muslinger har også en betydende effekt. Der er ikke tekniske udfordringer forbundet med brug af muslinger til jordforbedrende formål, og muslinger ville kunne bruges som gødning i fx økologisk jordbrug. Imidlertid medfører reglerne i biproduktforordningen, at muslingerne skal behandles i komposteringsanlæg, herunder opvarmes, inden udbringning og, at de skal tilsættes et smagsstof, der forhindrer, at de kan bruges som fodermiddel. Uanset om udfordringerne med biproduktforordningen løses eller ej, er det ikke sandsynligt, at salg af miljømuslinger som jordforbedrende middel vil indbringe en betydende del af de budgetøkonomiske omkostninger ved produktion af muslingerne.
- *Udplantningsmateriale.* I både Limfjorden og Horsens Fjord har det været vist, at muslingeyngel produceret i vandsøjlen på opdrætsanlæg kan udlægges på kulturbanker med henblik på senere fiskeri som konsummuslinger. En sådan model med yngelproduktion i vandsøjlen og efterfølgende slutvækst i bundkultur er under indfasning i den hollandske muslingeproduktion. Modellen har den fordel, at den kan begrænse fiskeri med brug af skrabende redskaber til mindre og udvalgte områder, men forudsætter i sammenhæng med fjernelse af næringsstoffer fra det marine miljø, at der ikke sker et tab af udlagt biomasse fra udlægning til fiskeri. På nuværende tidspunkt er der ikke fra danske farvande tilstrækkelig information til at kunne dokumentere, hvordan muslingeyngel produceret i vandsøjlen og udlagt i realistiske mængder vil udvikle sig mht. vækst eller tab i biomasse. Der er ikke et grundlag for at foretage beregninger af mulige indtægter ved denne brug af miljømuslinger.
- *Energiproduktion.* Dansk Skaldyrcenter har i samarbejde med Lemvig Biogas lavet pilotforsøg med brug af blåmuslinger til biogas. Konklusionen på forsøget blev, at den lave forgasningsværdi sammenholdt med de store tekniske udfordringer forbundet med brugen af muslinger i eksisterende rørsystemer m.m. ikke gør det realistisk at bruge muslinger til biogas.

Samlet vurderet er der betydelige muligheder for anvendelse af miljømuslinger, og det er sandsynligt, at brug af muslinger som virkemiddel vil medføre forskellig anvendelse af miljømuslingerne afhængig af produktionsområde og muslingernes kvalitet. Anvendelsen vil betinge rentabiliteten af virkemidlet og en del udfordringer i relation til anvendelse står tilbage. Løses de tekniske eller lovgivningsmæssige udfordringer omkring brug af muslinger som foderingrediens, er det sandsynligt, at miljømuslinger både kan fungere som et meget omkostningseffektivt virkemiddel til opnåelse af miljømål, være en vigtig kilde til proteiner i husdyrhold og være en vigtig mekanisme til at tilbageføre essentielle næringsstoffer tabt fra det terrestriske til det marine miljø. Findes der ikke en løsning, vil produktion af miljømuslinger resultere i et affaldsproblem.

3.5 Forvaltningsmodeller

Udvikling af forvaltningsmodeller for muslinger som virkemiddel kan hente inspiration fra de forskellige typer af betaling af økosystemtjenester (PES – Payment for Ecosystem Services), som er udviklet indenfor OECD landene. Overordnet findes der følgende typer:

- *Betaling med et fastsat beløb for miljøvenlige aktiviteter.* Betaling til miljøvenligt jordbrug er et eksempel, hvor jordejere får en fastsat betaling mod at foretage miljøvenlige tiltag som fx oprettelse af vådområder, pleje af græs- og naturarealer eller tilskud til ekstensivt landbrug. Betalingen gives som kompensation for tabt indtjening.
- *Konkurrenceudsættelse gennem auktion.* Udbud af aktiviteter i auktion, der fremmer biodiversitet og naturbevaring, findes i USA (Conservation Reserve Program) og Australien (fx Bushtender og Auction for Landscape Recovery). Her byder jordejere ind på de udbudte aktiviteter i konkurrence med andre jordejere. Aktiviteterne er alle miljøvenlige og har til formål at fremme økosystemtjenester, der er presset af intensiv dyrkning/udnyttelse.
- *Bevaringsbanker (Conservation Banking).* Fx 'biodiversitets- eller bevaringsbanker' der opkøber, leaser eller betaler private jordejere for specifikke aktiviteter. Resultatet af aktiviteterne bliver videresolgt som kreditter til institutioner og firmaer, som af den ene eller anden grund har brug for at kompensere tab af fx biodiversitet eller vådområde. Der findes bevaringsbanker i Frankrig (CDC Biodiversité), Australien (Biobanking) og USA (Wetland Banking).
- *Handel med kvoter/tilladelser.* Handel med ejendomsrettigheder til eksternaliteter inden for givne maksimale værdier/grænser, fx i form af tilladelse til udledninger af drivhusgasser (EU ETS), eller inden for vandkvalitet (Water Quality Trading i USA). Også klimaprojekterne Clean Development Mechanisms (CDM) og Joint Implementation (JI) hører herunder.

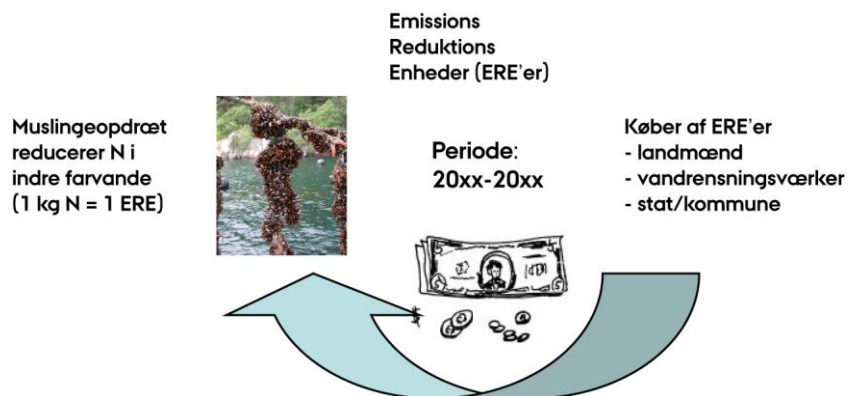
Generelt kan de nævnte betalingssystemer for økosystemtjenester karakteriseres som mere eller mindre frivillige foranstaltninger med henblik på at ændre adfærd hos aktører, der forårsager negative eksternaliteter (utilsigtede negative miljøeffekter som følge af aktørens økonomiske aktivitet). Der findes overordnet to forskellige måder at finansiere disse betalinger for økosystemtjenester:

- *Brugerfinansieret.* Den økonomiske aktør, som har fordel af økosystemtjenesten, betaler 'leverandøren' af økosystemtjenesten direkte eller gennem en institution, der agerer mellemlid.
- *Regeringsfinansieret.* Samfundet betaler som et hele for tjenesten gennem betaling fra kommune eller stat.

Begge typer finansiering kan kombineres med de ovenstående beskrivelser af forskellige måder at forvalte betaling for økosystemtjenester. Et eksempel på et system med handel med Emissions-Reduktions-Enheder (ERE) er beskrevet i figur 3.4. Systemet er inspireret fra de fleksible mekanismer CDM og JI, der tillader handel med emissionsreduktioner i relation til udledning af drivhusgasser. ERE i form af kg N fjernet i forbindelse kompensationsopdræt sælges på et marked faciliteret af enten mæglere eller ved at købere og sælgere forhandler kontrakter individuelt. Købere er forskellige udledere af kvælstof og fosfor og kan være fx landbrug, der til gengæld for opkøbte musling-ERE undgår at få yderligere krav om at udføre reduktionstiltag eller renseanlæg, der dermed undgår at investere i kapacitetsforøgelse. Det kan også være offentlige myndigheder, der ønsker at reducere effekterne af den

interne belastning eller lave supplerende tiltag for at forbedre vandkvaliteten i indre farvande for at overholde EU's vandrammedirektiv uden at stille yderligere krav til de kilder, der i dag udleder næringsstofferne. Et sådant system fordrer, at der er en klar tilladelse til at handle og en klar juridisk beskyttelse til at benytte sig af de købte rettigheder for at kunne overholde de lovgivningsmæssige udledningskrav.

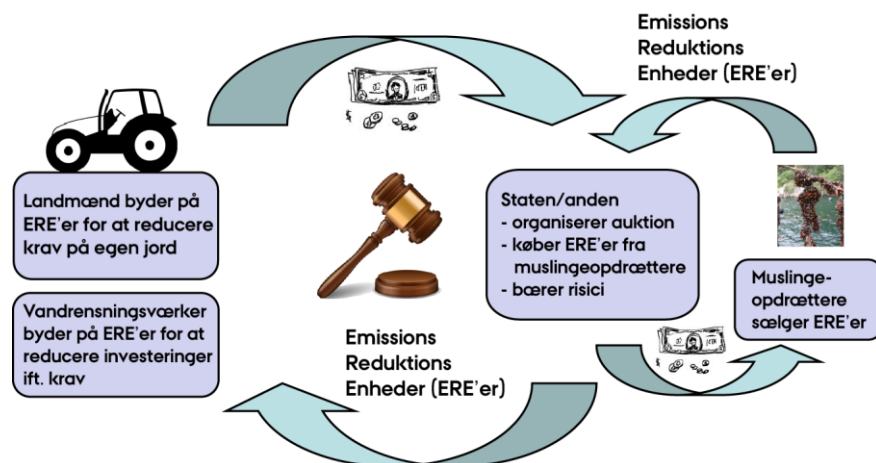
Figur 3.4. Handel med muslinge-ERE'er.



Et alternativt system baseret på udbydelse af ERE gennem auktion er vist i figur 3.5 og bygger på, at udledere af kvælstof og fosfor (landbrug, renseanlæg m.v.) gennem udbud kan købe et vist antal ERE'er som kan bruges til at overholde de skærpede krav til regulering af udledningen af næringsstoffer, som påkræves i relation til overholdelse af fx Vandrammedirektivet. Systemet kan også bruges således, at landmænd køber ERE'er med henblik på at kunne øge produktionen/aktiviteten og dermed udledningen af næringsstoffer, men hvis systemet implementeres med dette formål, vil der ikke netto opnås en reduktion af kvælstof i fjorden og dermed ikke en forbedring af vandmiljøet. Der vil dog kunne opnås en mere omkostningseffektiv reduktion af næringsstofferne i fjordmiljøet end ved anvendelse af landbrugstiltag, hvilket medfører, at der samlet set kan opnås en større reduktion for den samme omkostning.

Staten kan i eksemplet illustreret i figur 3.5 kompensere for risikoen for, at muslingeproduktionen ikke leverer det aftalte niveau N-fjernelse fra vandmiljøet. Dette kan fx gøres ved at opkøbe en ekstra pulje ERE'er, som det er kendt på fx CO₂-markedet. Muslingeopdrættere sælger deres ERE'er til staten enten gennem en på forhånd forhandlet kontrakt eller også gennem auktion (hvis antallet af opdrættere er tilstrækkeligt).

Figur 3.5. Auktionering af muslinge-ERE'er.



En samlet fremstilling af de forskellige modeller for betaling af økosystem-tjenester i relation til kompensationsopdræt er vist i *tabel 3.3* og eksemplificeret med kvælstofreduktion i landbrug.

Tabel 3.3. Modeller for betaling af kvælstoffjernelse gennem kompensationsopdræt af miljømuslinger.

Betalingsmekanisme	Enhed	Regeringsfinansieret	Brugerfinansieret
Fastsat betaling for tjeneste	kr. pr. kg N	Regeringen betaler muslingeopdrættere for N-fjernelse. Betalingen sker i form af et på forhånd fastsat beløb pr. kg N baseret på en fastsat relation mellem muslingevægt og N-indhold for at forenkle mekanismen.	Landbrug får mulighed for at betale et fastsat beløb pr. kg N fjernet gennem høst af muslinger direkte eller gennem et mellemlidende til opdrætterne. Der fastsættes på forhånd en relation mellem muslingevægt og N-indhold for at forenkle mekanismen. Til gengæld for betaling får landmænd mulighed for at undgå omkostningstunge tiltag med henblik på at reducere kvælstofudledningen. Systemet kan også tilrettelægges, så landmanden kan købe ERE'er for at undgå eksisterende krav eller for at forøge produktionen, men i disse tilfælde opnås ikke en nettoreduktion af tilførslen af kvælstof til vandmiljøet. Landbrug kan selv vælge om de ønsker at indgå i handlen.
Konkurrenceudsættelse af tjeneste	1 ERE = 1 kg N	Staten gennemfører auktion blandt opdrættere om kompensationsopdræt i forskellige fjordområder. Udbudsenheden kunne være emissions reduktionsenheder (ERE). Staten kunne for at dække finansieringen udbyde ERE'er i auktion til landbrug, som til gengæld kan få lempelse i forhold til gældende/kommende krav.	Muslingeopdrætterne sælger ERE'er i auktion til landbrug. Staten eller anden offentlig aktør kan agere mellemlidende og facilitator. Dette led kunne også overtage (en del af) risikoen ved, at N-optag ikke realiseres. Staten kunne her også tænkes at være opkøber for at sikre målopfyldelse i forhold til vandrammedirektivet.
Kvælstofbank	1 ERE = 1 kg N	En statslig finansieringsinstitution understøtter projekter, der nedsætter kvælstof i vandmiljøet. Dette kan ske gennem flere forskellige virkemidler herunder direkte betaling til kompensationsopdræt. Antal og typer af N-kreditter fastsættes nærmere. Kreditterne sælges videre til stat, kommune eller private til opfyldelse af hver deres mål.	Ikke relevant.
Handel med kvælstof-tilladelser	1 ERE = 1 kg N	Regering opkøber ERE'er direkte fra kompensationsopdrættere gennem flerårige kontrakter. ERE'er kan evt. sælges videre til opfyldelse af krav hos landbrug. Regering opkøber mere, end der videresælges for at dække risiko for, at N-optag ikke helt realiseres.	Landbrug opkøber ERE'er direkte fra kompensationsopdrættere gennem flerårige kontrakter. ERE'er kan evt. sælges videre til opfyldelse af krav hos andre landbrug.

4 Referencer

1. Fallesen, G., Andersen, F. & Larsen, B. 2000: Life, death and revival of the hypertrophic Mariager Fjord, Denmark. - J. Mar. Sys. 25: 313-321.
2. Nordjyllands Amt & Århus Amt 2002: Debatoplæg om Mariager Fjord. 39 s.
3. Nordjyllands Amt & Århus Amt 2004: Mariager Fjord - Indsatskatalog for nedbringelse af tilførslen af fosfor og kvælstof. 32 s.
4. Bråten, S. et al. 2002: Muslingebrug i Mariager Fjord. Et statusnotat til handlingsplan for Mariager Fjord fra arbejdsgruppen for muslingebrug. Nordjyllands Amt & Århus Amt. 39 s. + bilag.
5. Møhlenberg, S.J. & Jacobsen, B. 2008: Blåmuslinger som økologisk virkemiddel. - Vand & Jord 2: 68-71.
6. Petersen, J.K., Maar, M. & Holmer, M. 2010: Muslinger som virkemiddel - Et pilotstudie. By- og Landskabsstyrelsen, Miljøministeriet. 41 s.
7. Lindahl, O., et al. 2005: Improving marine water quality by mussel farming: a profitable solution for Swedish society. - Ambio 34(2): 131-138.
8. Jönsson, L. & Elwinger, K.: 2009: Mussel meal as a replacement for fish meal in feeds for organic poultry - a pilot short term study. - Acta Agriculturae Scandinavica, Section A, Animal Sciences 59(1): 22-27.
9. Stybel, N., Fenske C. & Schernewski, G. 2009: Mussel cultivation to improve water quality in the Szczecin Lagoon. - J. Coast. Res. 56: 1459-1463.
10. Petersen, J.K. et al. 2004: Intercalibration of mussel *Mytilus edulis* clearance rate measurements. - Marine Ecology Progress Series 267: 187-194.
11. Petersen, J.K. & Malm, T. 2006: Off-shore windmill farms: threats or possibilities to the marine environment. - Ambio 35(2): 75-80.
12. Petersen, J. K., Nielsen, T.G., van Duren, L., Maar, M. 2008: Depletion of plankton in a raft culture of *Mytilus galloprovincialis* i Ría de Vigo, NW Spain. I. Phytoplankton. - Aquatic Biology 4 113-125.
13. Maar, M., T.G. Nielsen & Petersen, J.K. 2008: Depletion of plankton in a raft cultivation of *Mytilus galloprovincialis* in Ría de Vigo, NW Spain. II: Zooplankton. - Aquatic Biology 4: 127-141.
14. Smaal, A.C. & Vonck, A.P.M.A. 1997: Seasonal variation in C, N and P budgets and tissue composition of the mussel *Mytilus edulis*. - Marine Ecology Progress Series, 1997. 153(1-3): 167-179.

15. Møller F., Andersen S. P., Grau, P., Huusom H., Madsen T., Nielsen J. & Strandmark L. 2000: Samfundsøkonomisk vurdering af miljøprojekter. Danmarks Miljøundersøgelser, Miljøstyrelsen og Skov- og Naturstyrelsen. 464 s.
16. Dubgaard, A. et al. 2010: Økonomiske analyser for landbruget af omkostningseffektive klimatiltag. Fødevareøkonomisk Institut: København.
17. Energistyrelsen 2009: Forudsætninger for samfundsøkonomiske analyser på energiområdet.
18. Markager, S., Storm, L.M. & Stedmon, C.A. 2006: Limfjordens miljøtilstand 1985 til 2003. Sammenhæng mellem næringsstofftilførsler, klima og hydrografi belyst ved hjælp af empiriske modeller. Danmarks Miljøundersøgelser. 219 s. - Faglig rapport fra DMU, nr. 577.
19. Carlsson, M.S., Glud, R.N. & Petersen, J.K. 2010: Degradation of mussel (*Mytilus edulis*) fecal pellets released from hanging long-lines upon sinking and after settling at the sediment. - Can. J. Fish. Aquat. Sci. 67: 1376-1387.
20. Carlsson, M.S., Holmer, M. & Petersen, J.K. 2009: Seasonal and spatial variation of benthic impacts of mussel long-line farming in a eutrophicated Danish fjord, Limfjorden. - J. Shellfish Res. 28(4): 791-801.
21. Carlsson, M.S. et al. (*in prep.*): Impacts of mussel (*Mytilus edulis*) biodeposits from long-lines on benthic nitrogen cycle: N release, denitrification and dissimilatory nitrate reduction.
22. Clausen, I. & Riisgård, H.U. 1985: Growth, filtration and respiration in the mussel *Mytilus edulis*: no evidence for physiological regulation of the filter-pump to nutritional needs. - Marine Ecology Progress Series 141: 37-45.
23. Essink, K. & Bos, A.H. 1985: Growth of three bivalve mollusks transplanted along the axis of the Ems estuary (West Germany, the Netherlands). - Netherlands Journal of Sea Research 19(1): 45-51.
24. Petersen, I.K., Nielsen, R.D., Pihl, S., Clausen, P., Therkildsen, O., Christensen, T.K., Kahlert, J. & Hounisen, J.P. 2010. Landsdækkende optælling af vandfugle i Danmark, vinteren 2007/2008. Danmarks Miljøundersøgelser, Aarhus Universitet. 78 s. - Arbejdsrapport fra DMU nr. 261
25. Thorsen, S. 2013: Effekten af kunstigt etableret muslingerev (*Mytilus edulis*) på performance af ålegræsset (*Zostera marina*) i en eutrofieret fjord. - Specialerapport, Syddansk Universitet. Biologisk Institut, Odense.
26. Holmer, M. & Kristensen, E. 1996: The seasonality of sulfate reduction and major pore water constituents in a marine fish farm sediment: The importance of sedimentary carbon. - Biogeochemistry 32(1): 15-39.
27. Kristensen, E. et al. 2012: What is bioturbation? The need for a precise definition for fauna in aquatic sciences. - Mar. Ecol. Prog. Ser. 226: 285-302.

28. Stadmark, J. & Conley, D.J. 2011: Mussel farming as a nutrient reduction measure in the Baltic Sea: Consideration of nutrient biogeochemical cycles. - *Mar. Pollut. Bull.* 62: 1385-1388.
29. Petersen, J.K. et al. 2012: Mussel farming can be used as mitigation tool – a reply. - *Mar. Pollut. Bull.* 64: 452-454.
30. Carlsson, M.S. et al. 2012: Effects of mussel farms on the benthic nitrogen cycle on the Swedish west coast. - *Aquacult. Environ. Interact.* 2: 177-191.
31. Petersen, J.K. & Mattesen, S. 2011: Muslinger som virkemiddel: Fjernelse af næringssalte gennem kompensationsopdræt – og kommerciel udnyttelse heraf. Dansk Skaldyrcenter, Nykøbing Mors. 8 s.
32. Olrog, L. & Christensson, E. 2008: Användning av musslor och musselrester som gödselmedel i jordbruket. Hushållningssällskapet Väst. 23 s.

Bilag 1. Kompensationsopdræt ved havbrug

En særlig problemstilling for begrænsning af tab af næringssalte fra fødevarereproduktion til det omgivende miljø gør sig gældende ved produktion af fisk i havbrug. Her er det ikke umiddelbart muligt at lave direkte rensningsforanstaltninger eller filtre, der kan opsamle de tabte næringssalte, som stammer fra ikke udnyttet foder og ekskretionsprodukter fra fiskene. Med henblik på at minimere miljøbelastningen fra havbrug er der gennemført en række tiltag for at gennemføre produktion ud fra "Best Environmental Practice" principper. Disse omfatter i Danmark fx periodevis braklægninger af produktionsområder, management og monitoringsprogrammer med henblik på løbende regulering produktionen, forbedring af udnyttelse af foderet og teknologisk udvikling af produktionen.

I andre lande har man introduceret "Integrated Multi Trophic Aquaculture" (IMTA) som en mulighed for at reducere miljøbelastningen ved opdræt af fisk. IMTA er ikke nødvendigvis gennemført som en forudsætning for havbrug, men anvendes i praksis i fx Kina og som koncept i fx Canada. Princippet i IMTA er det samme som for kompensationsopdræt, det vil sige opdræt af muslinger og/eller tang i relation til fiskeopdrættet. Muslingerne er i konceptet tænkt som filtratorer, der kan opsamle det partikulære materiale fra fiskeopdrættet, mens dyrkning af tang skal opsamle overskydende opløste næringssalte. IMTA kan endvidere suppleres med "dyrkning" af børsteorme i sedimenterne under anlæggene. Det er imidlertid ikke sandsynligt, at IMTA anlæg kan fungere som egentlige fysiske filtre. Især den opløste fraktion af næringssaltene kan forventes at blive transporteret væk fra havbruget hurtigere end den fuldt ud kan optages i tang og helt sikkert hurtigere end den kan bindes partikulært i form af mikroalger og dermed blive filtreret af muslinger. Da havbrug endvidere af hensyn til tilførsel af ilt til fiskene fortrinsvis ligger i strømrigt vand, skal opsamling af næringssalte i fangkulturer eller IMTA forstås som en kompensation for et tab andetsteds. Der er således ikke nødvendigvis behov for en direkte fysisk kobling af havbrug og kompensationsopdrættet og kompensationsopdrættet kan i princippet foregå indenfor samme hoved vandområde eller endda i nærliggende områder i afhængighed af fx lokale miljø- og produktionsforhold.

I Danmark er der endnu ikke givet godkendelse til udvidelse af fiskeproduktion, hvor udvidelsen er direkte koblet til krav om kompensationsopdræt, men to danske havbrugere – Musholm a/s og Hjarnø Havbrug a/s – har investeret i opdrætsanlæg til dyrkning af muslinger og for Hjarnø Havbrugs vedkommende også i dyrkning af tang med henblik på kompensationsopdræt og udvidelse af fiskeproduktionen. Begge havbrugere har valgt at dyrke muslingerne på net udspændt på rør som i Smartfarm® konceptet og for begges vedkommende har der været indledende udfordringer med henholdsvis de hårde fysiske betingelser i Storebælt og fx prædation fra edderfugle og søstjerner i Horsens Fjord og har endnu ikke haft en kontinuert, større produktion af muslinger.

Til en konkret bedømmelse af de aktuelle (primært 2013) muligheder for kompensationsopdræt i relation til havbrug, har Musholm a/s stillet oplysninger til rådighed fra deres foreløbige resultater, som dog ikke kan betragtes som endelige. Informationerne baserer sig på en produktion i 2012 på et anlæg med 40 Smartfarm® rør af hver 120 m udstyret med net med en maskevidde

på 165 x 165 mm. Omkostningerne omfatter både investerings-, drifts og arbejdsomkostninger, og omkostningerne er annuieret med en renteforudsætning på 5 % samt de oplyste levetider for de forskellige komponenter i anlægget og under forudsætninger som vist i *tabel B.1*. Der er beregnet omkostninger for en forventet høst på ca. 500 t i oktober, hvor muslingerne var 20-25 mm store og derfor ikke konsum egnede. Høstmængden ved overvintring kendes ikke, og omkostningerne til vintersikring på befæstede anlæg er derfor ikke indregnet. Den beregnede mængde kvælstof i muslingerne antages sammenlignelig med koncentrationerne og fordelingen i Skive fjord muslingerne ved høst i december og med samme fordeling i kød, skaller og byssus, hvilket vil give en anslået total mængde fjernet kvælstof på 6,5 t N for en produktion på 500 t muslinger. Det skal dog bemærkes, at der p.t. ikke foreligger målinger af muslingernes indhold af kvælstof fra Musholm-anlægget og mængden fjernet kvælstof er derfor et skøn. Omkostningerne er beregnet under forudsætning af, at omkostningerne fordeles på 1 og 3 anlæg, hvor forskellen mellem de to beregninger er, at der antages en forbedret kapacitetsudnyttelse for 3 anlæg, mens investeringer og etablering skalerer lineært.

Tabel B.1. Forudsætninger for beregninger af omkostning ved kompensationsopdræt af muslinger ved Musholm a/s i 2012.

Omkostning	Pris	Investering DKK	Levetid år	Årlig omkostning DKK
Investeringsomkostninger:				
Rør	90.000	3.600.000	10	466.216
Skib	5.000.000	5.000.000	20	401.213
Høstmaskine	1.500.000	1.500.000	20	120.364
Lysbøjer, kæde, fortøjningsklods	20.000	80.000	10	10.360
Etableringsomkostninger (mandskab)		200.000	10 og 20	18.512
Drift og vedligehold	12.000 pr. måned	144.000	Årlig	144.000
Mandskabstimer, årlig drift	25.000 pr. måned	300.000	Årlig	300.000
Vintersikring		18.000	Årlig	18.000

Opdrætsanlæg ved Musholm
Laks. Foto: Musholm Laks A/S.



De beregnede omkostninger for høst i oktober er sammenfattet i *tabel B.2*. Under de beskrevne forudsætninger er omkostningerne til kvælstoffjernelse ved Smartfarm® anlægget beregnet til at ligge mellem 250-300 kr. pr. kg N, det vil sige væsentlig dyrere end for produktion på et konventionelt anlæg i Skive Fjord, som beskrevet i hovedrapporten. Den største del af omkostnin-

gen skyldes investeringsomkostningerne til rør, bøjer og båd. Hvis produktionen af muslinger fordobles pr. anlæg, fra 500 til 1000 tons, reduceres omkostningerne pr. kg N markant, til hhv. 150 og 129 kr. kg N for 1 og 3 anlæg. Det betyder, at en forbedring af produktiviteten på anlægget og dermed en større optagelse af kvælstof, forbedrer omkostningseffektiviteten mere end øget kapacitetsudnyttelse af båd og mandskab.

Tabel B.2. Beregnede omkostninger for produktion af muslinger og fjernelse af kvælstof.

Omkostning	Kroner
Budgetøkonomisk ved 1 anlæg	1.442.154
Velfærdsøkonomisk ved 1 anlæg	1.946.907
Budgetøkonomisk kr./kg musling (500 t)	2,9
Velfærdsøkonomisk kr./kg musling (500 t)	3,9
Budgetøkonomisk ved 3 anlæg	3.730.668
Velfærdsøkonomisk ved 3 anlæg	5.036.402
Budgetøkonomisk kr./kg musling (1500 t)	2,5
Velfærdsøkonomisk kr/kg musling (1500 t)	3,4
	Kr. pr. kg N
Omkostning pr. kg N* ved 1 anlæg	300
Omkostning pr. kg N* ved 3 anlæg	258

* Velfærdsøkonomiske omkostning som beregningsgrundlag.

Omkostningseffektiviteten ved kompensationsopdræt i forbindelse med havbrug kan ikke endelig afgøres på baggrund af dette regneeksempel, da både dyrkningsform og lokalitet ikke på samme måde er testet som den i Skive Fjord valgte opdrætsform. Udover de effektiviseringer, der kan forventes ved en længere periodes indkøring af anlæg og produktionsform, kan der også forventes betydelige synergieffekter med havbrugsproduktionen af fisk. Dertil kommer evt. indtægtsmuligheder ved salg af muslingerne. Endelig vil der være betydelige gevinster, hvis kompensationsopdræt kan medføre tilladelser til en forøget fiskeproduktion. Et kompensationsopdrætsanlæg som det beskrevne kan således forventeligt kompensere for en produktion af ørreder på min. 100 t.

Arbejdsbåd ved Musholm Laks.
Foto: Musholm Laks A/S.

